

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Intelligentní nabíjení Pb akumulátoru
ze solárního panelu

Intelligent Pb Accumulator Charging
from Solar Panel

2009

Martin Prokeš

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě

Rád bych na tomto místě poděkoval své ženě Janě za morální podporu při studiu a realizaci této diplomové práce. Dále pak mým dětem, synovi Michalovi, že spal, když měl a dceři Nelince, že mi tak často neresetovala počítač.

Abstrakt

Tato práce shrnuje problematiku návrhu a stavby inteligentní nabíječky ze solárního panelu. Popisuje jednotlivé principy, konstrukce použité pro solární články a olověné hermetické akumulátory. Zabývá se aplikacemi integrovaných obvodů použitými pro jednotlivé části nabíječky. Navrhuje konkrétní zapojení obvodů pro řízení nabíjení a kontrolu vybíjení hermetických olověných akumulátorů. V konstrukci navrhnutého zařízení se snaží o co možná nejjednodušší zapojení a nastavení. Programové vybavení pro mikrokontroler bylo napsáno ve vyšším programovacím jazyce „C“. Závěr práce je věnován již konkrétnímu zhotovení prototypu inteligentní nabíječky a návodu na použití.

Klíčová slova: diplomová práce, principy, návrh, konstrukce, stavba, program, návod.

Abstract

Dissertation summarises design and structure problems of smart charger for solar cell. It describes principles and design for solar cell and lead-acid hermetic accumulator. It deals with application of chips IC (Integrated Circuit) used for particular components of charger. It projects particular circuit for leading lead-acid hermetic accumulator charging and discharging. In design of equipment there is as simplest as possible circuit and setting. Leading programme was written in „C“ programming language. Last part of the dissertation is devoted to construction of prototype of smart charger and operating instructions.

Keywords: master thesis, principles, project, construction, building, programme, operating instructions.

Seznam použitých zkratk a symbolů

A/D – (Analog/Digital), převod analogového signálu na digitální

ABS – (Akrylonitril Butadien Styren), termoplast

AKU – akumulátor

EEPROM – (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory), elektricky mazatelná paměť

FV – fotovoltaický

HSS – (High-Side Switch), horní spínač

ICD – (In-Circuit Debugging), programování a ladění programu pomocí dvou vodičů

IO – integrovaný obvod

I/O – (Input/Output), vstup/výstup

LCD – (Liquid Crystal Display), displej z tekutých krystalů

LSS – (Low-Side Switch), dolní spínač

MOSFET – (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor), polem řízený tranzistor s kovovým hradlem odizolovaným oxidovou vrstvou

PID – (Proportional Integral-Derivative), proporcionálně integračně-derivační, regulace

PSP – (Parallel Slave Port), paralelní SLAVE port

PWM – (Pulse Width Modulation), pulsní šířková modulace

RAM – (Random-Access Memory), přepisovatelná paměť

RISC – (Reduced Instruction Set Computer), počítač s redukovanou instrukční sadou

SSP – (Synchronous Serial Port), synchronní sériový port

USART – (Addressable Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter), adresovatelný sériový komunikační kanál

WDT – (Watchdog Timer), hlídací časovač, reset systému při zaseknutí

Obsah

1 Úvod	4
2 Fotovoltaické získávání energie	5
2.1 Princip vzniku elektřiny na solárním článku: přechod PN	6
2.2 Fotovoltaické články: generační vývoj	8
2.2.1 První generace: monokrystalické články	8
2.2.2 Druhá generace: polykrystalické články	9
2.2.3 Třetí generace: amorfni články	9
2.3 Výroba fotovoltaického článku	12
2.4 Výkon článku	12
2.5 Ztráty článku	13
2.6 Fotovoltaické panely	13
2.7 Ukázka zapojení fotovoltaického systému	15
3 Zdroje na uchování energie	16
3.1 Olověné akumulátory	16
3.1.1 Princip funkce Pb akumulátoru	17
3.2 Hermeticky uzavřené bezúdržbové olověné akumulátory	18
3.2.1 Konstrukce hermetických akumulátorů s deskovými elektrodami	19
3.2.2 Konstrukce hermetických akumulátorů se spirálovými elektrodami	20
3.3 Nabíjení hermetických akumulátorů	21
3.3.1 Nabíjení konstantním proudem	22
3.3.2 Nabíjení konstantním napětím s omezením proudu	22
3.4 Vybíjení hermetických akumulátorů	24

4. Konstrukce nabíječky ze solárního panelu	25
4.1 Aplikační informace mikrokontroleru PIC16F877A	26
4.1.1 Vlastnosti obvodu PIC16F877A	26
4.1.2. Speciální vlastnosti PIC16F877A	28
4.2 Zapojení obvodu pro měření proudu	28
4.2.1 Aplikační informace MAX471, MAX472	29
4.3 Zapojení obvodu pro řízení nabíjení s MOSFET tranzistorem	31
4.3.1 Typická zapojení MOSFET s N a P kanálem	31
4.3.2 Aplikační informace MOC3063	32
4.3.3 Popis zapojení obvodu nabíjení	32
4.4 Zapojení obvodu ochrany baterie	33
4.4.1 Popis zapojení obvodu ochrany baterie	33
4.5. Zapojení LCD displeje	34
4.5.1 Popis zapojení vývodů displeje ATM1602B	34
4.5.2. Komunikace s LCD	35
5. Programové vybavení	36
5.1. Hlavní program	36
5.1.1. Podprogram měření U1 a U2	37
5.1.2. Podprogram měření I	38
5.1.3 Podprogram nastavení požadované hodnoty proudu In	39
5.1.4 Podprogram řízení nabíjení	40

Obsah	3
-------	---

6 Závěr	43
7 Literatura	44
8 Seznam příloh	46
9 Obsah přiloženého CD	47

1 Úvod

Tento diplomový projekt se zabývá využitím slunečního záření k nabíjení olověných akumulátorů za pomoci inteligentní nabíječky, která bude hlídat všechny důležité parametry při nabíjení a vybíjení akumulátoru.

Na začátku práce je v několika kapitolách shrnuta teorie konstrukce solárních článků a konstrukce fotovoltaických panelů. Dále se práce věnuje zdrojům na uchování energie, konkrétně olověným hermetickým akumulátorům, jejich konstrukci a provozování.

Po teoretickém rozboru je zmínka o mikrokontroleru PIC, který byl použit v konstrukci pro řízení nabíječky. Následná část popisuje důležité části nabíječe, jednotlivé obvody použité pro řízení nabíjení a kontrolu vybíjení v konstrukci prototypu, jehož stavba byla uskutečněna.

Závěrem práce je návrh programového vybavení sestaveného prototypu, napsaného v jazyce „C“. Konkrétní části programu jsou uvedeny ve vývojových diagramech.

2 Fotovoltaické získávání energie



Obr. 1.1: Ukázková fotografie prvního solárního panelu vyrobeného v Bellových laboratořích

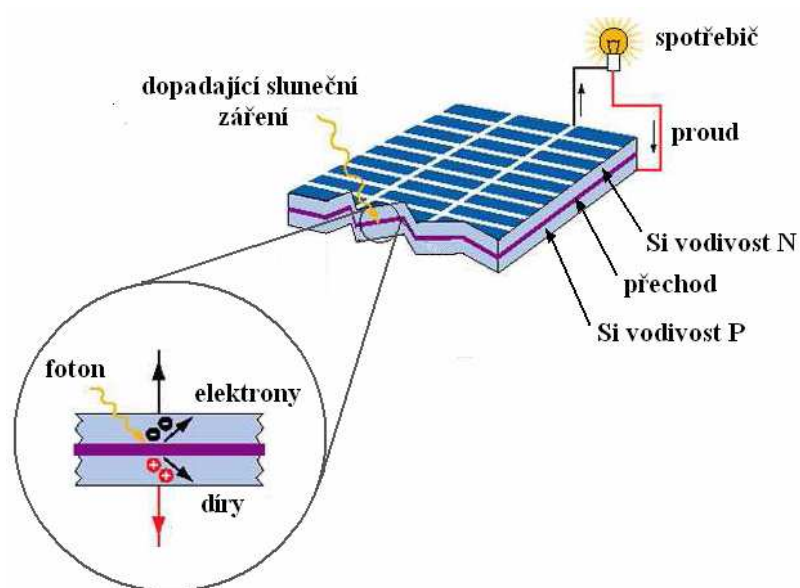
Výroba elektrické energie solárními články má velké využití v mnoha oblastech, od napájení kalkulaček až po energeticky soběstačné horské chaty. Nejčastějším využitím je vyplňování části spotřeby rodinného domu a spotřeby v odlehlých oblastech s horší dostupností energetické sítě. V neposlední řadě pak ekologické nahrazování neekologických tepelných elektráren.

Elektrický výkon je dán celkovou plochou a účinností solárních článků. Základním rozdílem u fotovoltaického získávání energie je, že tyto systémy nemají pohyblivé mechanické části, čímž odpadají problémy s opotřebením a údržbou. Fotovoltaické články nevytváří hluk, neprodukují odpad a nepotřebují žádné přídavné pohonné látky.

Další výhodou je jejich sestavitelnost do větších celků o libovolném výkonu, čímž se stávají velice snadno přizpůsobitelné pro různé potřeby domácností, podniků atd.

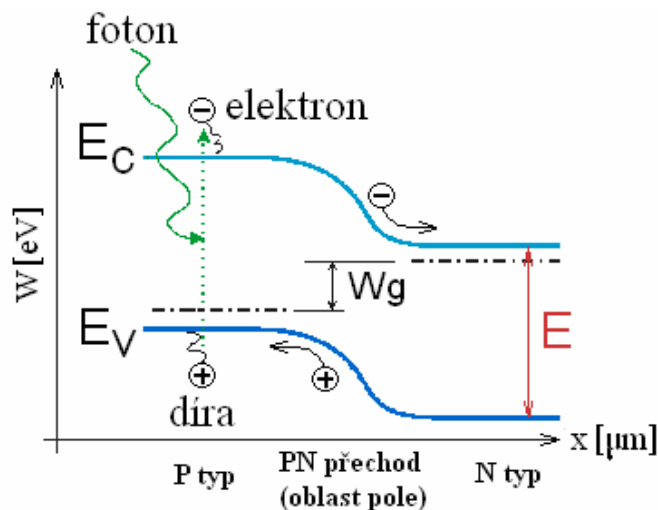
2.1 Princip vzniku elektřiny na solárním článku: přechod PN

Fotovoltaické (FV) články, lit. [1], [3], [5] pro svou činnost využívají fotovoltaického jevu, který byl objeven Alexandrem Edmundem Becquerelem. Tomu se podařilo zjistit, že dopadem slunečního záření na polovodič dochází k pohlcování fotonů a uvolňování elektronů. V polovodiči obr. 2.1 vzniká volný elektrický náboj, pár elektron – díra a ten je možné z polovodiče odvádět jako elektrickou energii.



Obr. 2.1: Základní princip fotovoltaického jevu

V polovodičovém krystalu zprostředkovávají vazbu mezi atomy elektrony, které vytvářejí spolu s elektrony sousedních atomů pevnou vazbu. K uvolnění elektronu z vazby je potřeba určité energie, kterou dodají právě dopadající fotony. Ty musí mít však energii větší, než je tato vazební energie, aby uvolnily elektrony z této vazby tak, že se elektron začne volně pohybovat v krystalu. Na místě uvolněného elektronu zůstává neobsazený stav - díra. Zde mohou přeskakovat sousední elektrony a tímto způsobem se může neobsazený stav pohybovat krystalem jako kladný náboj. Mluvíme proto o vytvoření páru elektron - díra interakcí s fotonem. Elektron se může vrátit zpátky do neobsazeného stavu ve vazbě. V takovém případě mluvíme o rekombinaci elektronu a díry.



Obr. 2.2: Energetické pásové schéma

Jestliže v krystalu existuje nehomogenita, se kterou je spojeno vnitřní elektrické pole E , takovou nehomogenitou může být třeba přechod PN, jsou tímto elektrickým polem rozděleny páry elektron - díra a to tak, že elektrony jsou urychleny do oblasti N a díry do oblasti typu P obr. 2.2, lit. [12]. Fotony s dostatečnou energií mohou uvolňovat elektron z valenčního pásu E_V do vodivostního E_C . Účastní se jen ty fotony, které mají energii větší než zakázaný pás W_g polovodiče (1,14 eV pro Si). Takovýmto způsobem se oblast typu N nabíjí záporně a oblast typu P kladně tak, že na osvětleném polovodiči s přechodem PN vzniká fotovoltaiické napětí. Pokud připojíme mezi tyto oblasti spotřebič, teče jím stejnosměrný proud, který může vykonávat užitečnou práci. Velikost proudu procházejícího elektrickým obvodem závisí jednak na intenzitě osvětlení článku, dále pak na ploše článku a na jeho účinnosti.

Základním prvkem umožňujícím přímou přeměnu světelné energie na elektrickou je solární článek. Tento prvek se dá charakterizovat jako plochá elektronická součástka, na které vzniká při dopadu světla elektrické napětí. Napětí článku se nazývá fotovoltaiické a může být zdrojem elektrického proudu, pokud jsou svorky solárního článku připojeny k nějakému spotřebiči nebo spojeny nakrátko. Solární článek se dá do jisté míry přirovnat k baterii, na kterou však musí svítit světlo.

2.2 Fotovoltaické články a jejich generační vývoj

Jako v každém odvětví, i zde probíhá vývoj. Jeho hlavní snahou je zejména zlevnění výroby FV článků. V současnosti (2009) známe tři generace fotovoltaických článků.

2.2.1 První generace: monokrystalické články

Tyto články obr. 2.3, lit. [3] využívají křemíkové desky a skládají se z jediného krystalu. V dnešní době mají zdaleka největší podíl ve výrobě. Účinnost těchto článků se pohybuje v rozmezí 13 až 17%.

Solární panely s monokrystalickými články jsou v našich podmínkách užívané nejvíce. Krystaly křemíku jsou větší než 10 cm a vyrábí se na bázi chemického procesu tažením roztaveného křemíku ve formě tyčí o průměru až 300 mm. Ty se poté rozřezou na tenké plátky - podložky.

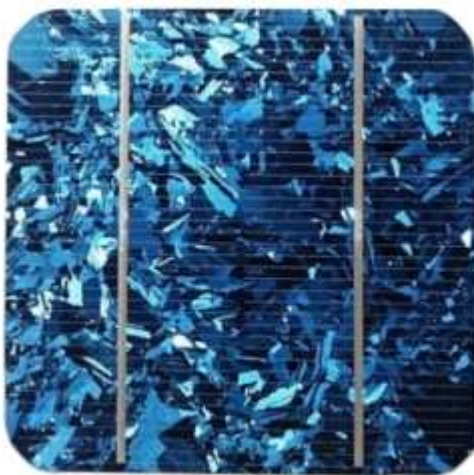


Obr. 2.3: Monokrystalický článek

Velkou nevýhodou monokrystalických článků je velká spotřeba drahého křemíku. Podle provedení dosahují ceny 300 až 500 \$/m². Nedostatek křemíkového materiálu vede ke snahám výrobců uspořít formou ztenčování výchozích Si desek nebo zaváděním nových technologií, které zmenšují ztráty způsobené technologickým odpadem při výrobě fotovoltaických článků.

2.2.2 Druhá generace: polykrystalické články

Základem je, podobně jako u monokrystalických panelů, křemíková podložka s tím rozdílem, že solární články se skládají z většího počtu menších, různě orientovaných krystalů. Absorbující vrstva těchto článků obr. 2.4, lit. [3] je několiksetkrát tenčí, tudíž dochází k velké úspoře materiálu. Bohužel je to na úkor menší účinnosti polykrystalických článků. Ta klesla a pohybuje od 12 do 14% (výjimečně až 16%).



Obr. 2.4: Polykrystalický článek

Tyto tenkovrstvé články mají mnoho vynikajících vlastností, např. mohou být naneseny na ohebnou fólii a sdílet její pružnost. Jejich výroba je v porovnání s monokrystalickými panely mnohem jednodušší, tedy i levnější a rychlejší. Pro dosažení stejného výkonu, oproti monokrystalickým panelům, je výsledný rozměr FV panelu bohužel o něco větší. Výroba polykrystalických panelů se shoduje s technologií výroby monokrystalických panelů.

2.2.3 Třetí generace: amorfní články

Základem amorfních slunečních panelů je napařovaná křemíková vrstva. Ta je tvořena tenkovrstvými články na bázi amorfního křemíku (a-Si), amorfních slitin Si-Ge (a-SiGe), mikrokystalického Si ($\mu\text{c-Si}$) nebo polykrystalického tenkovrstvého Si (poly-Si). Ta se v tenké

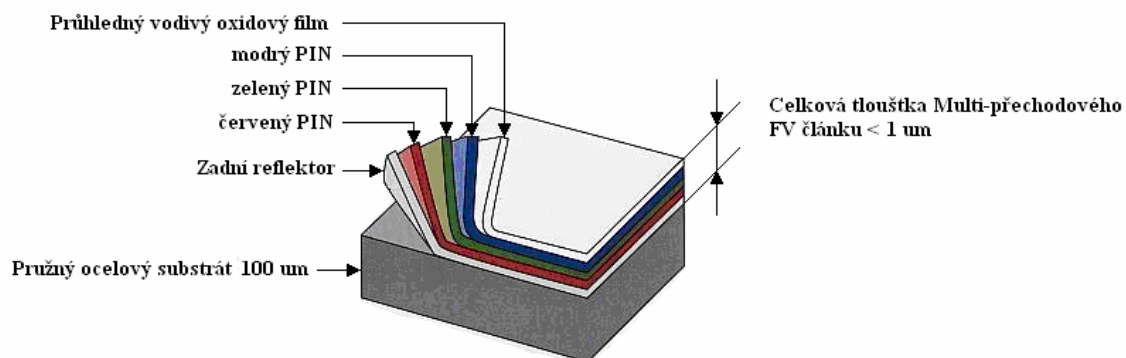
vrstvě nanáší na sklo nebo fólii. Účinnost těchto článků je zase nižší, pohybuje se v rozmezí 7 až 9%. Proto je pro dosažení daného výkonu potřeba 2,5x větší plochy, než kolik by bylo potřeba při použití mono nebo polykrystalických modulů. Celoroční výnos je ovšem o 10% vyšší! Tyto typy článků obr. 2.5, lit. [2] patří dnes na trhu k nejlevnějším a hlavně jsou výhodné především tam, kde investor není omezen prostorem. Pro zlepšení vlastností amorfních panelů byly nalezeny různé technologie, které vytvářejí druhou generaci FV článků. Dá se říct, že se jedná o hlavní momentální vývoj. Směru je hodně, například vývoj vícevrstevných či organických článků.

Existuje samozřejmě celá řada postupů jak zlepšit vlastnosti fotovoltaických tenkovrstvých článků. O jedné z možností zlepšení vícepřechodových FV a-Si fotočlánků je zmínka dále.



Obr. 2.5: Amorfní článek

Výše zmíněné fotovoltaické články na bázi amorfního a-Si jsou pružné, ohebné a podstatně tenčí a lehčí než krystalické články. Je proto možné je už ve výrobě přímo integrovat na horní povrch pružného ocelového povrchově upraveného substrátu a běžných polymerních hydroizolačních fólií na bázi etylen-vinyl-acetátu (EVA fólie). Tím pádem nepotřebují žádnou vlastní nosnou nebo podpěrnou konstrukci jako krystalické systémy.



Obr. 2.6: Princip a-Si roll-to-roll třípřechodového FV článku

Pro zlepšení vlastností a-Si článků se využívá technologie tzv. a-Si „Triple Junction“ (trojitý přechod) obr. 2.6, lit. [2]. Spodní (-) pól článku tvoří základní fólie z ušlechtilé ocelové fólie, vhodně upravené plastickými potahy, na kterou jsou jednotlivé P-I-N přechody kontinuálně nanášeny. Horní (+) pól je vytvořen z průhledné mřížky z vláken ušlechtilé oceli. Materiál, který tvoří jednotlivé P-I-N přechody je různý. První přechod je tvořen a-Si, druhý je tvořen slitinou a-Si-Ge a třetí také touto slitinou, ale s vyšším obsahem Ge. Tímto se docílí využití celého spektra slunečního záření. Každý z P-I-N přechodů absorbuje jinou vlnovou délku spektra slunečního záření. FV systémy na bázi a-Si třívrstvé technologie, oproti krystalické technologii, mohou využívat vedle červené složky i složku zelenožlutou a modrou dopadajícího světla a zůstávají proto funkční i při difúzním světle, při zastínění a při zatažené obloze. Mohou tudíž pracovat i na plochách odvrácených od Slunce.

Z dlouhodobého měření se jeví pro klimatickou oblast střední Evropy s danou průměrnou oblačností vyšší celková účinnost těchto systémů o 20 až 35 %, než-li je to u krystalických systémů. Klasické krystalické Si moduly absorbují převážně viditelnou část spektra a začátek infračervené složky.

Celý FV článek je zapouzdřen v průsvitném polymerním ochranném obalu, který má vysokou odolnost proti mechanickému poškození a oděru. Má samočisticí schopnost a zabraňuje tvorbě usazenin na horním povrchu. Ty by snižovaly účinnost přeměny. Materiál obalu je opět na bázi EVA a na bázi teflonu - TEFZEL. Jednotlivé články se spojují do modulů.

2.3 Výroba fotovoltaického článku



Obr. 2.7: Ukázka kroků výroby současných křemíkových slunečních článků

Primárním materiálem pro výrobu fotovoltaických článků obr. 2.7, lit. [1] je krystalický nebo polykrystalický křemík. Tenké křemíkové desky jsou dopovány atomy odlišných příměsí z obou stran tak, aby uvnitř desky vznikl P-N přechod, na kterém bude docházet k pohlcení fotonů a vzniku volných nosičů náboje. Zadní strana článku je pokryta tenkou kovovou vrstvou vytvářející elektrodu. Čelní strana článku je opatřena sítí kovových přívodů vytvořených tak, aby zakrývaly co nejmenší plochu a články byly přitom efektivně schopny odvádět vzniklý náboj. Maximální napětí pro křemíkový fotočlánek je přibližně 0,5 V. Jednotlivé články se zapojují sériově, paralelně nebo kombinovaně dle požadavků na výkon.

2.4 Výkon článku

Výkon solárního článku závisí na spektru světla, intenzitě ozáření a na teplotě článku, lit. [3]. Výstupní napětí jednoho solárního článku má hodnotu přibližně 0,5 V. Při jeho typické velikosti o rozměrech 10 x 10 cm je schopen vytvořit elektrický proud až 3 A, tím dosahuje elektrického výkonu 3 W.

Zatímco s vzrůstající intenzitou dopadajícího světla elektrický výkon solárního článku roste, tak s jeho rostoucí teplotou naopak klesá, tj. při zvýšení teploty o 10 °C dojde k poklesu vyráběného výkonu o 4 %, při zvýšení o 25 °C klesá výkon až o 10 %. Jako orientační hodnoty je možné v podmínkách České republiky počítat na jeden instalovaný Wp výtěžek fotovoltaického systému v létě 4 Wh/den, v zimě 0,8 Wh/den.

V parametrech FV článků se uvádí zkratový proud, což je maximální proud dodávaný spojením svorek nakrátko. U této hodnoty se též uvádí napětí naprázdno. Obě hodnoty se měří přímým spojením svorek bez připojení spotřebiče. Špičkový výkon solárního článku se určuje součinem jeho zkratového proudu a napětí naprázdno.

2.5 Ztráty článku

Vznikají například odrazem záření od povrchu článku. Proto se povrch zdrsňuje a pokrývá antireflexní vrstvou, tvořenou obvykle napařením oxidu titanu, čímž získá článek svůj tmavomodrý vzhled, lit. [3].

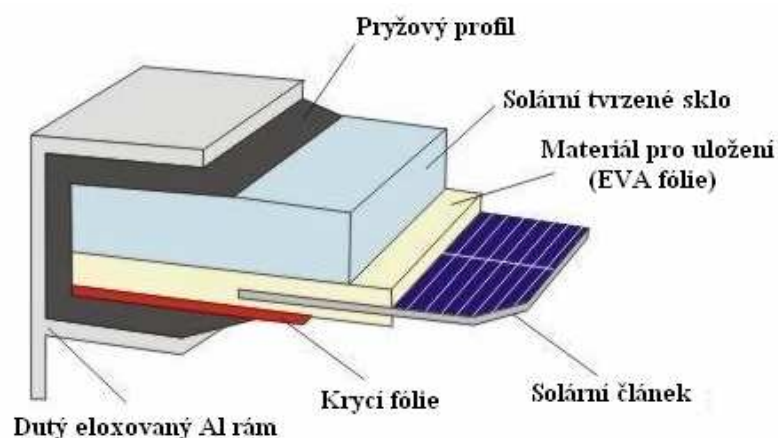
Ztráty vznikají též tím, že část povrchu je zastíněna mřížkou sběrnice katodového kontaktu. Další ztráty jsou pak na odporu jednotlivých vrstev struktury a odporu sběrnic při průchodu proudů. Pro dosažení co největší účinnosti článku se jeho konstrukce optimalizuje změnou tloušťky a rezistivity jednotlivých vrstev, vzdáleností kontaktů sběrnice apod.

Nejběžněji prodávané články v současnosti (2009) dosahují účinnosti okolo 14 až 16 %. Vyšší účinnost je možno dosáhnout jen u speciálně konstruovaných článků s komplikovanou technologií (dosahují účinnosti až 25 %). Nedávno se v USA podařilo zkonstruovat článek s účinností 40 %.

2.6 Fotovoltaické panely

Proč se staví z fotovoltaických článků panely? Jeden FV článek má pracovní napětí 0,5 V, což je velmi málo. Proto se články zapojují do tzv. panelů. Takové panely jsou navíc kryty před vlivy počasí, mechanickým poškozením a zejména jsou tím pádem velmi jednoduše instalovatelné. Obvykle se do série zapojuje 36 článků pro 12 V nebo 72 pro 24 V.

Při sériovém zapojení teče všemi články stejný proud. Je tudíž žádoucí přibližně rovnoměrné osvětlení všech článků. V případě zastínění jen jednoho článku okamžitě klesá výkon celého panelu. Každý modul obsahuje přemost'ovací Bypass diodu, která přemostí panel při jeho lokálním zastínění a tím zabrání jeho poškození.



Obr. 2.8: FV panel

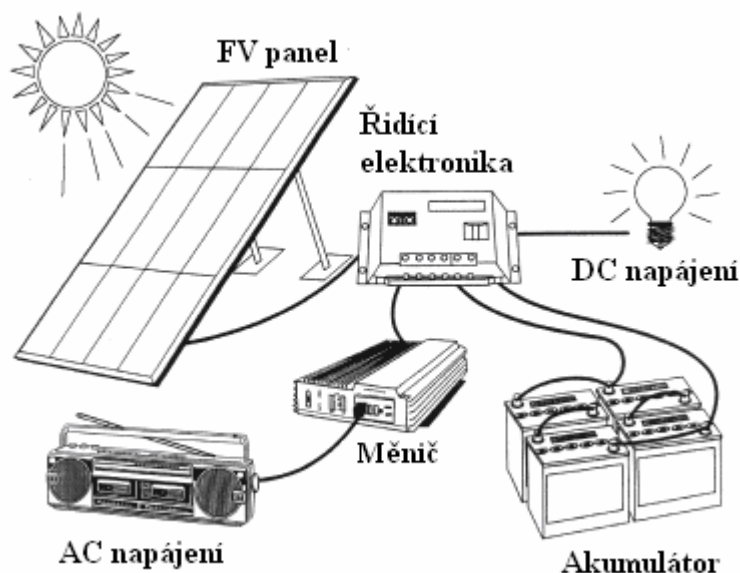
Fotovoltaické panely obr. 2.8, lit. [3] jsou tvořeny většinou „sendvičem“, který se skládá ze speciálního bezpečnostního skla, fólií (EVA), křemíkových článků pospojovaných do vhodného zapojení, opět fólií (EVA) a podkladního materiálu (TEDLAR, nebo TEFZEL). Tento sestavený celek je pomocí technologie tepelné laminace zataven do sendviče a dále většinou zarámován do vhodného rámu. Vývodní kabely jsou buď ve vhodné krabici upevněné na zadní straně panelu nebo volně s ukončením speciálními montážními rychlokonektory. Fotopanely se montují na tomu přizpůsobené konstrukce, uchycené do střechy domů nebo do terénu. Je také snahou integrovat tyto deskové panely přímo do střech domů.

Nejčastěji jsou panely chlazeny přímo okolním vzduchem. Životnost panelů z krystalického křemíku je udávána okolo 20 až 30 let. Výkon modulu se prezentuje jako maximální dosažitelný výkon při osvětlení 1000 W/m^2 .

Panely se vyrábějí ve výkonech asi do 200 wattů. Pro větší výkony se panely skládají do fotovoltaických polí a panely lze přitom libovolně zapojovat jak sériově, tak paralelně. Doporučuje se používat v jednom solárním poli panely jednoho výrobce.

2.7 Ukázka zapojení fotovoltaického systému

Na obr. 2.9, lit. [3] je znázorněno typické zapojení fotovoltaického systému. Na fotovoltaický panel dopadají sluneční paprsky a vzniká elektrické napětí. Protože fotovoltaické články dodávají pouze napětí stejnosměrné, je třeba pro běžné použití v domácnosti převést toto napětí na střídavé. K tomu slouží měnič, pak lze již zapojit běžný spotřebič. Pokud je však místo zařízení na stejnosměrné napětí, lze tento měnič vynechat a brát proud přímo z usměrňovače.



Obr. 2.9: Možné zapojení FV systému

Zatím největším problémem energetiky je skladování vyrobené elektřiny, které je v dnešní době ještě stále velmi drahé a složité. To se samozřejmě přenáší i na fotovoltaiku. Pokud budeme chtít svůj dům zásobovat pouze z fotovoltaiky, musíme mít také akumulátory, do kterých se přebytečný proud uskládá. Bez slunečního záření (noc, bouřka, atd.) se elektřina z akumulátorů spotřebovává.

3 Zdroje na uchování energie

Akumulátorem se obecně chápe zařízení na uchovávání energie. Může pracovat na různých principech např.: tepelná, chemická, potencionální nebo jiná akumulace.

Kapacitou u akumulátorů rozumíme schopnost dodávání dané energie po určitou dobu. Konkrétně u chemických akumulátorů je to množství energie ve stanovené době, až do poklesu napětí vybitého článku na stanovenou minimální mez.

Druhy chemických akumulátorů: a) olověné (Pb): - s tekutým elektrolytem

- s gelovým elektrolytem

b) niklové: - niklkadmiový (NiCd)

- metalhydridový (NiMh)

c) lithiové: - lithium iontový (Li-Ion)

- lithium polymerový (Li-Pol)

- lithium manganový (Li-MnO)

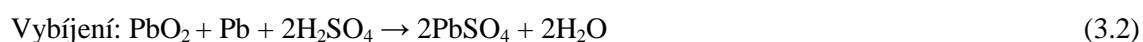
V této diplomové práci se budu zabývat konkrétně hermetickými bezúdržbovými olověnými akumulátory.

3.1 Olověné akumulátory

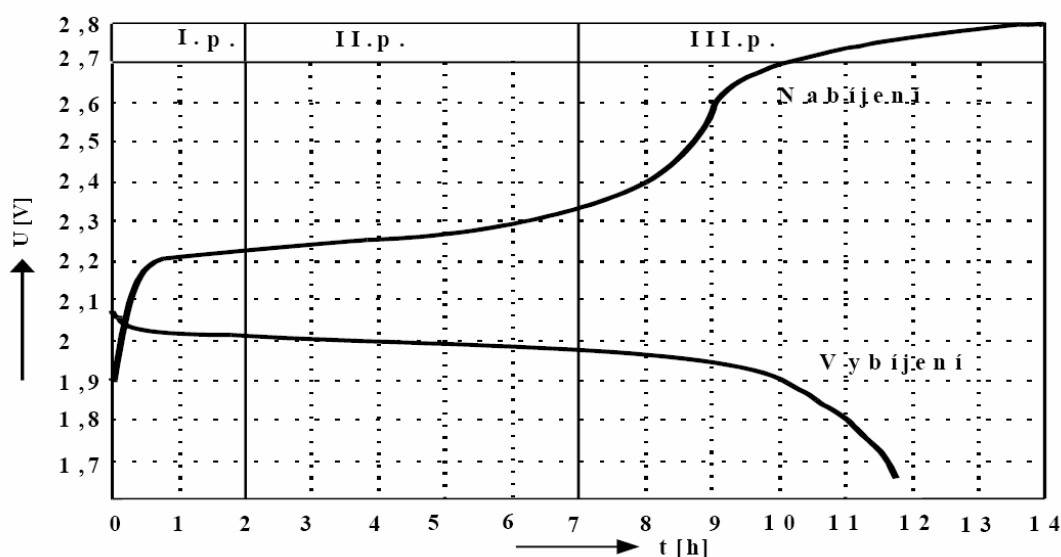
Olověný akumulátor je v dnešní době nejvíce rozšířeným sekundárním zdrojem elektrické energie, lit. [6]. Z tohoto rozšíření vyplývá i jejich přijatelná cena, spolehlivý provoz a výborný výkon. První akumulátor sestrojil francouzský badatel Gaston Planté v roce 1859.

3.1.1 Princip funkce Pb akumulátoru

Olověný akumulátor tvoří olověné desky (elektrody), vnořené do zředěné kyseliny sírové. Jeden článek akumulátoru je tvořen dvěma deskami, mezi kterými je separátor. Jednotlivé články se spojují nejčastěji do série a tak vytváří akumulátorovou baterii. Chemický proces při činnosti akumulátoru je vratný a dá se vyjádřit rovnicí.



Při nabíjení (3.1) se vytváří kyselina sírová (H_2SO_4), hustota elektrolytu stoupá. S ukončením nabíjení se na kladné elektrodě vytváří tmavohnědý oxid olovičitý (PbO_2) a na záporné elektrodě je jemně rozptýlené tmavošedé olovo. Při vybíjení (3.2) naopak elektrolyt řídne, kyselina sírová se spotřebovává. Při vybitém stavu je na kladné elektrodě červenohnědý a na záporné elektrodě tmavohnědý síran olovnatý (PbSO_4). Houstnutí elektrolytu se zvětšujícím dodaným nábojem je spolehlivou známkou stavu nabití akumulátoru. Dalším ukazatelem stavu nabití je zvětšující se napětí při nabíjení. Pomocným ukazatelem je při nabíjení plynování elektrod, což je postřehnutelné jen u akumulátoru s tekutým elektrolytem.



Obr. 3.1: Typické nabíjecí a vybíjecí křivky Pb akumulátoru

Křivky napětí při nabíjení i vybíjení prochází třemi pásmy:

V prvním pásmu je po připojení nabíjecího proudu charakteristické zvětšování napětí, se současnou tvorbou kyseliny v pórech olověné desky. Tato oblast je mezi napětím 1,75 až 2,2 V a hustota elektrolytu se přitom zvětší z $0,95 \text{ g/cm}^3$ na $1,15 \text{ g/cm}^3$.

Ve druhém pásmu je přeměna síranu olovnatého ohraničena napětím 2,2 až 2,45 V a hustota kyseliny stoupne na $1,25 \text{ g/cm}^3$.

Zvětší-li se napětí článku na 2,45 V, nabíjení se nachází ve třetím pásmu, kde se začne kromě síranu rozkládat voda na vodík a kyslík a akumulátor začne plynovat. Pokud se rozloží všechny síran, zvětší se napětí na článku na 2,7 až 2,8 V. V tomto okamžiku se vložená energie spotřebovává jen na rozklad vody a napětí se již nezvětšuje.

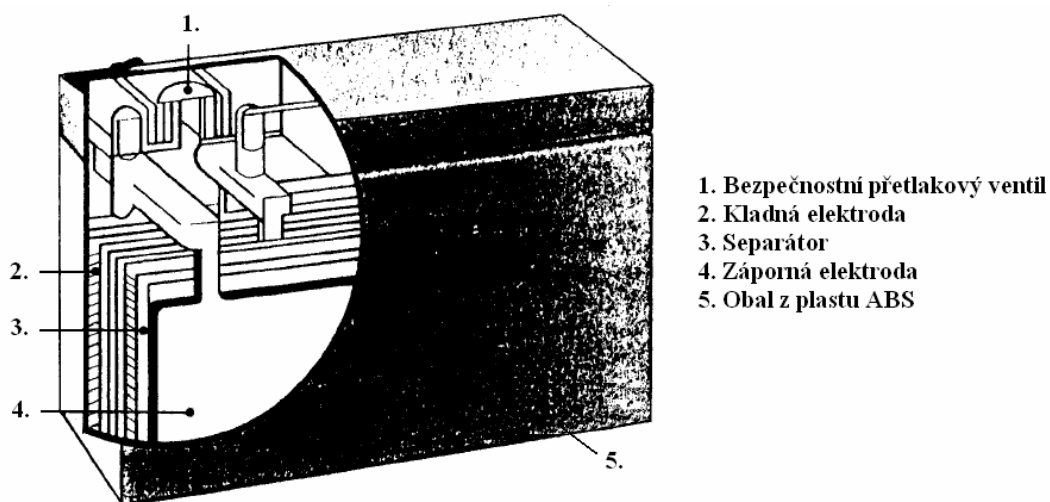
Změříme-li vnitřní odpor akumulátoru zjistíme, že je velmi malý, asi kolem $0,001 \Omega$. Závisí na hustotě a teplotě elektrolytu. Pokud nabíjíme akumulátor, vnitřní odpor se zmenšuje a naopak při vybíjení se zvětšuje.

Kapacita akumulátoru je určena spotřebou aktivní hmoty, kdy asi 36 g je potřeba pro kapacitu baterie 1 Ah a je též přímo úměrná ploše elektrod.

3.2 Hermeticky uzavřené bezúdržbové olověné akumulátory

Tento typ akumulátorů, lit. [6] je výsledkem dlouhodobého vývoje akumulátorů pro záložní napájení. Snaha o trvalé minimální požadavky na údržbu těchto akumulátorů vedla k tomu, že dnešní uzavřené hermetické akumulátory jsou zcela bez údržby po celou dobu jejich životnosti. Za použití těch nejlepších poznatků v oblasti elektrochemie bylo dosaženo těch nejlepších poměrů kapacity oproti hmotnosti. Tyto hermetické akumulátory umožňují využití jak v zálohovacím, tak cyklickém režimu.

3.2.1 Konstrukce hermetických akumulátorů s deskovými elektrodami



Obr. 3.2: Konstrukce hermetického akumulátoru

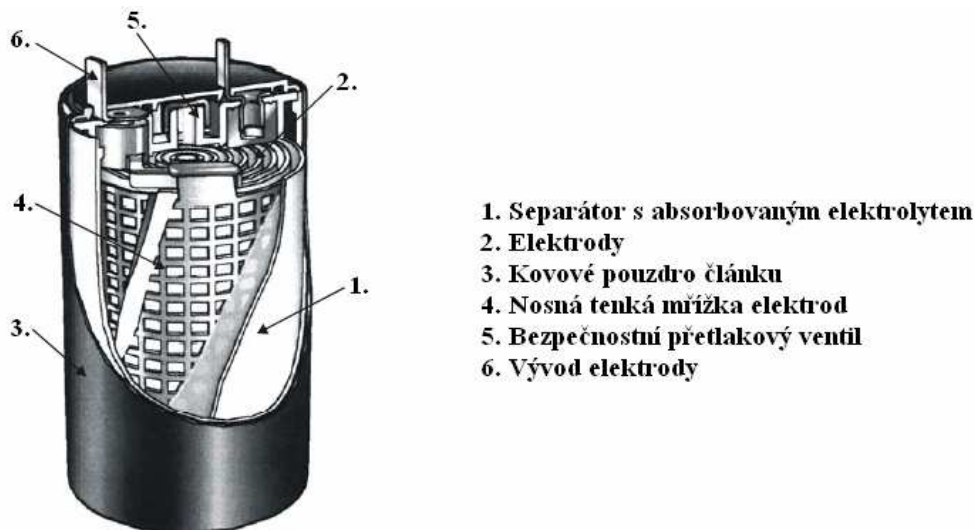
Na obr. 3.2 je znázorněna konstrukce hermetických bezúdržbových akumulátorů s deskovými elektrodami. Kvalitu akumulátorů určuje především konstrukce elektrod a výrobci těchto typů akumulátorů používají většinou velmi pokrokovou konstrukci elektrod. Základem této konstrukce je bezantimonový olovo-kalciový kompozit. Zárukou vysoké pevnosti elektrod je použití malého množství kalcia, které také zvyšuje jejich odolnost proti korozi. V nabitém stavu je na záporné elektrodě vrstva čistého olova, na kladné pak vrstva PbO_2 . Obě elektrody mají porézní strukturu, čímž bylo dosaženo maximálního povrchu elektrod. Separátory oddělující elektrody některých hermetických akumulátorů jsou současně také absorbérem elektrolytu. Používá se sklotextil, který má velkou odolnost proti tepelným vlivům a oxidaci. Velmi dobře váže elektrolyt a má vynikající iontovou vodivost. Jako elektrolyt se samozřejmě používá kyselina sírová. Někteří výrobci využívají gelový elektrolyt, který nevyžaduje klasické separátory.

Obal baterie je většinou vyroben z plastu ABS, který je vysoce odolný i proti požáru. Akumulátory jsou konstruovány jako hermetické a za normálních provozních podmínek nemůže dojít k úniku elektrolytu ani plynů. Pokud dojde za provozu ke značnému přebíjení, může kvůli zvýšenému vyvíjení plynu narůst tlak v akumulátoru. Z těchto důvodů jsou tedy akumulátory vybaveny bezpečnostními ventily na každém článku. Při zvýšení tlaku na 15 až 40 kPa se ventil otevře a vypustí přebytečné plyny. Ventily jsou konstruovány jako jednocestné tak, že se vzduch z okolí nemůže dostat zpět do akumulátoru, kde by kyslík reakcí s elektrodami způsobil vnitřní vybíjení. Vývody akumulátoru jsou různých typů, konektorové nebo šroubovací, vyrobené z pocínovaného plechu.

Pro dosažení bezúdržbovosti akumulátorů je nutné zvládnutí rekombinace plynů vyvíjených při přebíjení akumulátoru. To je zajištěno tzv. kyslíkovým cyklem. Podstata tohoto cyklu je velmi jednoduchá. Akumulátory jsou vyrobeny tak, že jejich záporná elektroda má větší kapacitu než kladná a během dobíjení akumulátoru je kladná elektroda nabita dříve než záporná. Potom teprve začíná vyvíjení kyslíku. Ten však reaguje s olovem na záporné elektrodě a tak zabrání vyvíjení vodíku. Voda obsažená v elektrolytu se nerozkládá a její množství se proto nemění. Pokud je ale rychlost vyvíjení kyslíku větší než absorpční schopnosti záporné elektrody, jsou nadbytečné plyny vypuštěny bezpečnostním přetlakovým ventilem.

3.2.2 Konstrukce hermetických akumulátorů se spirálovými elektrodami

Konstrukce baterie se spirálovými elektrodami je znázorněna na obr. 3.3, lit. [6]. Jedná se stejně jako u akumulátorů s deskovými elektrodami o sestavu dvou elektrod, jejichž základem je olovená nosná mřížka s příměsí cínu, s aktivní hmotou oxidu olovičitého a olova. Tyto elektrody nejsou rovnoběžně vedle sebe, ale jsou stočeny do spirály a vsunuty do plastického nebo kovového pouzdra. Separátor vytváří izolační vzdálenost mezi elektrodami a je použit kompozit skelných vláken a textilií, nasáklý elektrolytem. Konstrukce těchto akumulátorů je používána v současné době firmou „HAWKER ENERGY Products“ se sídlem ve městě Warrensburg, stát Missouri v USA. Tyto akumulátory jsou označovány jako typová série „CYCLON“.



Obr. 3.3: Konstrukce Pb akumulátoru „CYCLON“

Konstrukce spirálových elektrod byla vyvinuta americkou společností „GATES TECHNOLOGY“ a je řešena buď v provedení samostatného článku nebo v sestavě několika článků tvořících monoblok. Sestava na obr. 3.3 tvoří základní stavební článek baterií „CYCLON“. Tyto akumulátory dosahují více než dvojnásobné životnosti proti deskovým akumulátorům.

3.3 Nabíjení hermetických akumulátorů

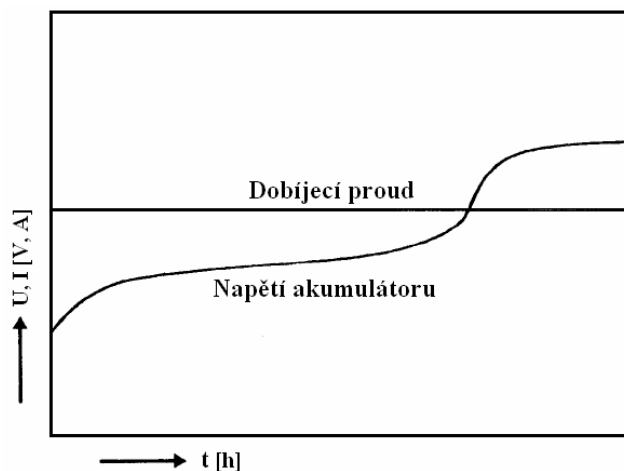
Pro dlouhou životnost akumulátorů a správnou funkci je správné nabíjení velmi důležité. Pokud zvolíme špatný způsob nabíjení nebo nevhodný nabíječ, můžeme způsobit výrazné zkrácení životnosti nebo dokonce poškození akumulátoru.

Obecně se dá říci, že pro nabíjení bezúdržbových akumulátorů je nutné připojit na svorky akumulátoru napětí větší než 2.15 V na článek (napětí nabitého akumulátoru naprázdno). Přílišné přebíjení akumulátoru, v důsledku zvýšení nabíjecího napětí, způsobí rozklad vody v elektrolytu. Tím může docházet k úniku plynů bezpečnostním ventilem a dokonce i k poškození akumulátoru.

V opačném případě, kdy nabíjecí napětí je příliš malé, proud do akumulátoru přestane téct dříve než bude akumulátor plně nabit. Kapacita akumulátoru pak bude menší než jmenovitá. Pro nabíjení akumulátoru můžeme použít nabíjení konstantním proudem nebo konstantním napětím, případně jejich kombinace. Pokud chceme dosáhnout maximální životnosti a kapacity, při rozumném dobíjecím času, je doporučené nabíjení konstantním napětím s omezením proudu.

3.3.1. Nabíjení konstantním proudem

Tento způsob nabíjení se doporučuje tam, kde je známa hloubka vybití z předcházejícího vybíjecího cyklu a nabíjecí čas tím může být určen přesněji. Je však zapotřebí zajistit pro nabíjení stabilizovaný zdroj konstantního proudu. Dále musíme hlídat nabíjecí napětí, abychom předešli negativním důsledkům přebíjení akumulátoru. Průběh nabíjecího proudu a napětí akumulátoru je na obr. 3.4, lit. [6].

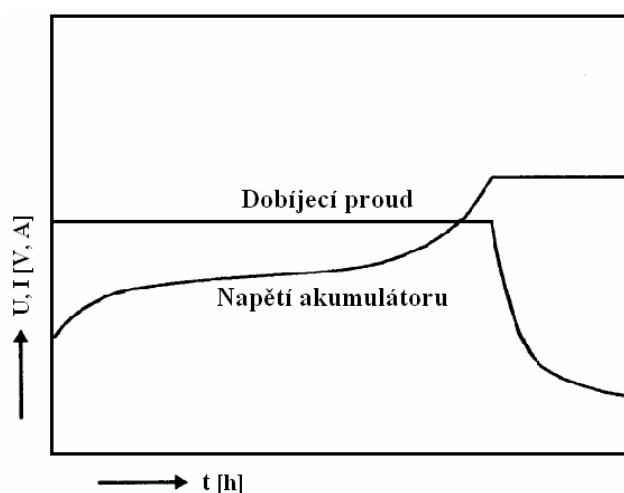


Obr. 3.4: Průběh napětí nabíjení konstantním proudem

3.3.2. Nabíjení konstantním napětím s omezením proudu

Jak bylo zmíněno výše, tento způsob nabíjení je pro bezúdržbové akumulátory to nejlepší. S konstantním napětím musí být omezen i proud z nabíječe proto, aby nedošlo k poškození akumulátoru vlivem velkého nabíjecího proudu do hluboce vybitého akumulátoru. Podle volby použití mohou být akumulátory nabíjeny trvale nebo dle potřeby. V aplikacích, kde jsou

akumulátory využity jako zálohovací zdroj napětí, je doporučené trvalé nabíjení. Tento způsob nabíjení konstantním napětím se používá hlavně u přenosných zařízení, kde nemůžeme určit hloubku vybití akumulátoru. Na obr. 3.5, lit. [6] je znázorněn typický průběh nabíjecího proudu a napětí při nabíjení konstantním napětím s omezením proudu. Při nabíjení roste napětí a klesá nabíjecí proud. Akumulátor je plně nabit, pokud se proud stabilizuje na velmi nízké hodnotě (např. 0.01 A) po dobu několika hodin.



Obr. 3.5: Nabíjení konstantním napětím s omezením proudu

Při nabíjení konstantním napětím s omezením proudu jsou uváděny dvě varianty nabíjení. Ty se liší maximální hodnotou napětí pro nabíjení. V prvním případě je nabíjecí napětí 14.7 V a používá se pro nabíjení akumulátorů v cyklickém režimu. V druhém případě je nabíjecí napětí 13.65 V a používá se pro trvalé nabíjení (standby režim).

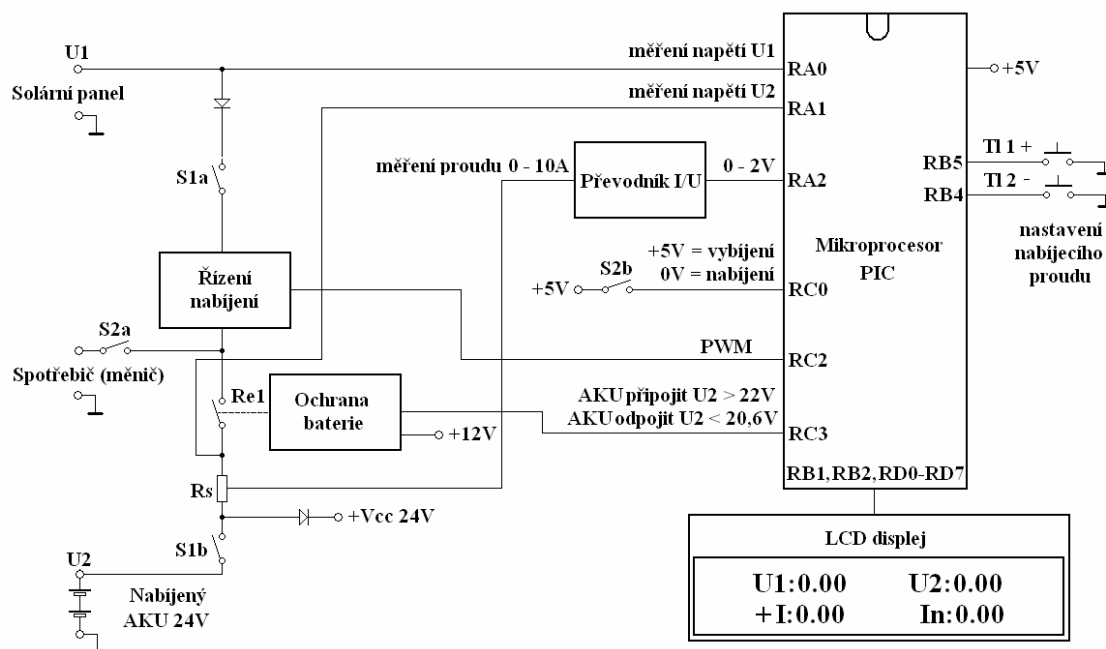
3.4 Vybíjení hermetických akumulátorů

Kapacita akumulátoru je vyjádřena v Ah. Je to celkové množství elektrické energie, které je možné z akumulátoru odebrat při zatížení jmenovitým proudem. Norma IEC 896-2 udává desetihodinové vybíjení konstantním proudem, do konečného napětí 1,8 V na článek. Avšak většina výrobců používá pro stanovení kapacity akumulátoru dvacetihodinové zatížení konstantním proudem, do konečného napětí 1,72 V. Toto napětí bylo zohledněno při nastavení konečného napětí vybitého akumulátoru u návrhu nabíječky.

4. Konstrukce nabíječky ze solárního panelu

Pro konstrukci inteligentní nabíječky, který naplňuje bod jedna zadání diplomové práce, byl vybrán jako řídicí mikroprocesor PIC16F877A, lit. [7]. Tento obvod v sobě slučuje vše potřebné pro řízení nabíjení, za použití vhodného software. Dalším důležitým obvodem pro správné řízení nabíjení je obvod pro měření proudu do/z akumulátoru. K tomu byl použit moderní integrovaný obvod od firmy MAXIM, který vyřešil požadavky na jednoduchost a spolehlivost měření proudu.

- Hlavní funkce nabíječky:
- a) nabíjení konstantním napětím 27,3 V s omezením proudu
 - b) ochrana baterie před hlubokým vybitím, napětí na AKU < 20,6 V
 - c) automatické odpojení nabíjení AKU při zapnutí spotřebiče
 - d) zobrazování hlavních provozních údajů na LCD displeji



Obr. 4.1: Blokové zapojení nabíječe

Jak je patrné z blokového schématu obr. 4.1 vstupuje proud přes spínač S1a ze solárního panelu do obvodu řízení nabíjení a zároveň na vstup A/D převodníku v mikrokontroleru. Akumulátor je připojen přes spínač S1b na kontakty relé Re1, dále na obvod nabíjení a také na druhý vstup A/D převodníku. Proud do/z akumulátoru teče přes snímací odpor R_s , z něhož se odebírá proud do převodníku I/U. Napěťový výstup je veden do třetího vstupu A/D převodníku mikrokontroleru. Dále je mikrokontrolerem kontrolováno sepnutí kontaktů spínače S2ab napájení spotřebiče (měniče), které je vedeno na vstup RC0.

Řízení nabíjení pomocí pulsní šířkové modulace (PWM) je odebíráno z výstupu RC2. Ochrana baterie je ovládána z výstupu RC3. Nabíjecí proud se nastavuje za pomoci tlačítek T11, T12 na vstupech RB4, RB5. Výstupy RB1, RB2 a RD0-RD7 jsou použity pro zobrazování a komunikaci s displejem.

Kompletní obvodové schéma je v příloze 1, spolu se stavebním návodem na prototyp, který naplňuje druhý bod zadání diplomové práce.

4.1 Aplikační informace mikrokontroleru PIC16F877A

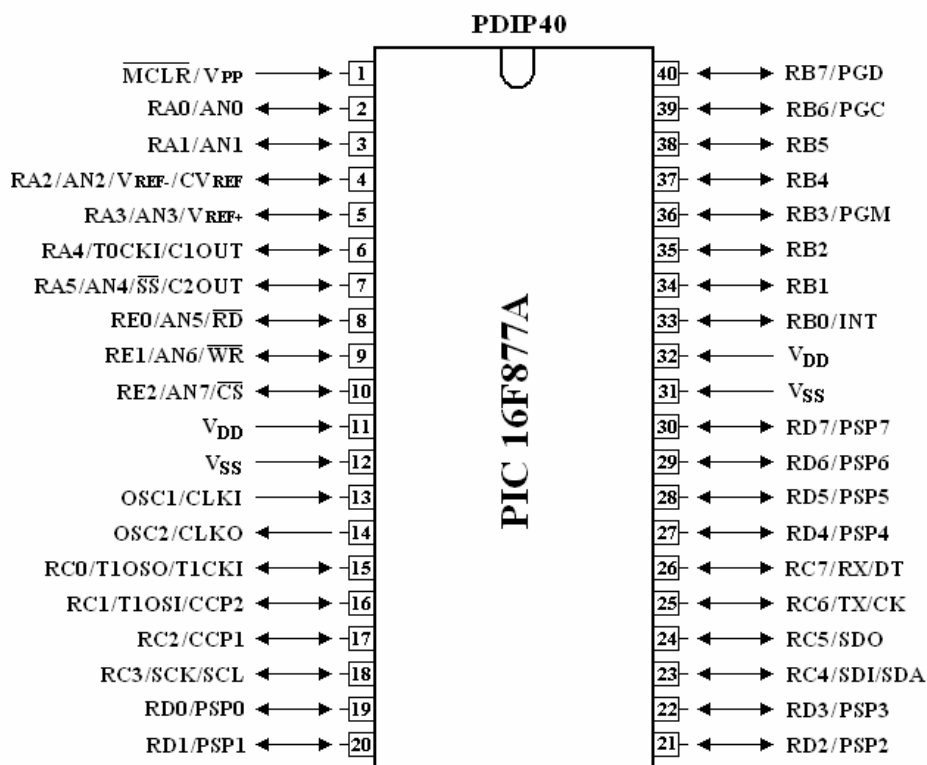
PIC16F877A, lit. [7] je velmi výkonný kontroler s architekturou RISC. Využívá ke své činnosti pouze 35 jednoslovných instrukcí. Všechny instrukce trvají jeden instrukční cyklus. Pouze instrukce pro větvení programu trvá dva cykly. Pracovní rychlost je až 20MHz, z toho délka trvání instrukčního cyklu je 200ns. Procesor obsahuje úložiště pro 8K x 14 bitů programové paměti, 368 bytů paměti RAM pro data a až 256 bytů paměti EEPROM.

4.1.1 Vlastnosti obvodu PIC16F877A

Mikrokontroler má 33 I/O vstupně výstupních obvodů, z nichž většina má další speciální funkce obr. 4.2, lit.[7]:

- a) TMR0: je 8bitový časovač/čítač s 8bitovým programovatelným předděličem.
- b) TMR1: je 16bitový časovač/čítač, který obsah TMR1 může zvyšovat i ve stavu SLEEP, pokud je používán vnější hodinový signál na vývodu T1CKI nebo krystal na vývodech T1OSI a T1OSO. Dále se dají použít moduly „CAPTURE“, „COMPARE“ a „PWM“.

- c) TMR2: je 8bitový časovač/čítač s 8bitovým registrem pro časovou základnu „PWM“ a předděličem i „děličem po“.
- d) 10bitový A/D převodník s 8-mi kanálovým multiplexovaným vstupem, doba převodu se pohybuje v rozmezí desítek až stovek μ s na kanál, záleží na nastavení parametrů.
- e) Komparátor a komparátor napět'ové reference.
- f) Synchronní sériový port SSP se dvěma režimy: 1) třívodičový SPI.
2) I²C/ACCESS.bus kompatibilní.
- g) Sériový komunikační kanál USART/SCI s možností detekce 9bitové adresy.
- h) Paralelní SLAVE port PSP s 8bitovou šířkou dat a externími signály RD, WR, CS.
- i) Režim SLEEP.



Obr. 4.2: Zapojení vstupů a výstupů PIC16F877A

4.1.2. Speciální vlastnosti PIC16F877A

- a) RESET při zapnutí napájení.
- b) Prodleva při zapnutí napájení, o kterou je prodloužen RESET a prodleva pro start oscilátoru po zapnutí napájení.
- c) Detekce poklesu napájecího napětí pro RESET.
- d) Watchdog Timer „WDT“ s vlastním RC oscilátorem na čipu pro zvýšení spolehlivosti funkce.
- e) Ochranné pojistky proti čtení programového kódu.
- f) Instrukce SLEEP pro programové uvedení mikrokontroleru do stavu úspory napájení.
- g) Volba režimu použitého oscilátoru při programování obvodu.
- h) Programování sériovou, dvou vodičovou linkou až v koncové aplikaci.
- i) Umožňuje ladění programu přímo v obvodovém zapojení „In-Circuit Debugging“ za pomoci dvou vývodů.
- j) Mikrokontroler má nízký příkon, vysokou rychlost s technologií CMOS FLASH/EEPROM.
- k) Má pouze jednoduché napájení +5 V při programování.
- l) Umožňuje široký rozsah napájení od 2 V do 5,5 V.
- m) Proud vývodů ven i dovnitř do 25 mA.

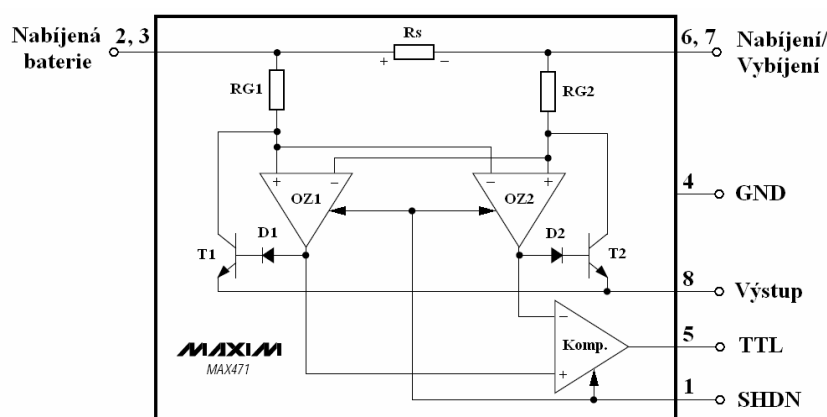
4.2 Zapojení obvodu pro měření proudu

Pro řízení nabíjení byl použit obvod MAX472, lit. [14]. Je to vlastně převodník na absolutní hodnotu, kdy je jedno, kterým směrem teče snímacím rezistorem R_s proud a výstupní napětí je stále v kladném rozsahu 0 – 2,5 V.

4.2.1 Aplikační informace MAX471, MAX472

MAX471 je monolitický integrovaný obvod, určený pro měření proudu, který jím může procházet v obou směrech. IO byl vyvinut hlavně pro použití v systémech řízení nabíjecího procesu akumulátorů v přenosných zařízeních jako jsou přenosné počítače a mobilní telefony.

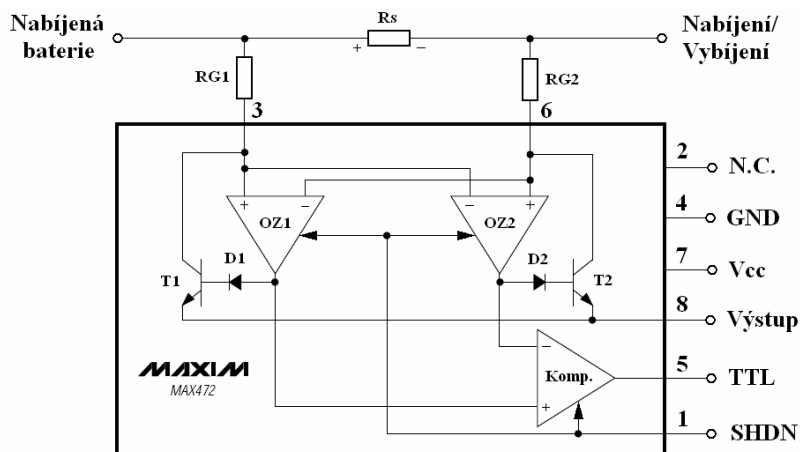
První IO s MAX471 obr. 4.3, lit. [10], [11] je určený pro měření proudů do 3A. Obvod nepotřebuje kromě zatěžovacího rezistoru R_o , který převádí výstupní proudový signál na napětí proti zemi a zdvihacího rezistoru pro SIGN informujícího o polaritě proudu, další vnější součástky. U tohoto IO je na čipu implementován snímací rezistor proudu R_s .



Obr. 4.3: MAX471 vnitřní zapojení

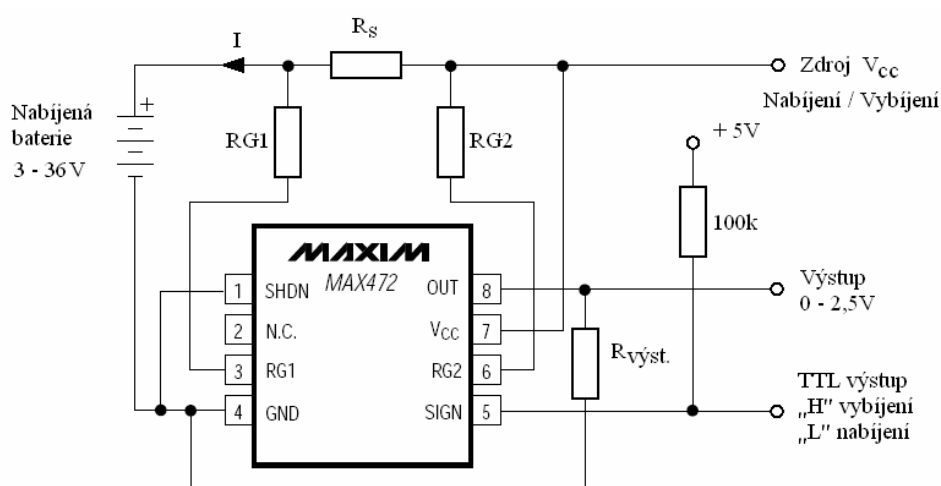
Pro větší volnost ve výběru měřeného proudu byl vyvinut druhý typ IO MAX472 obr. 4.4, lit. [10], [11], který pro měření proudu využívá vnější rezistor R_s a dva nastavovací rezistory RG1 a RG2, tab. 4.1. Velkou výhodou tohoto principu měření proudu je, že snímací rezistor je zařazen mezi kladným napájecím napětím a zátěží a ne mezi zátěží a zemí, jak to bývá obvyklé.

Napájení IO může být v rozsahu 3 až 36 V, odebírá proud max. 100 μ A a v režimu „SHUTDOWN“ jen pouze 5 μ A. MAX471 na rozdíl od MAX472 nemá zvláštní vývod pro napájení, které se přímo odebírá z vnitřního R_s . U MAX472 lze k vzhledem k malému odběru připojit Vcc i na R_s +.



Obr. 4.4: MAX472 vnitřní zapojení

Na obr. 4.4 je zjednodušené schéma, kde se vlivem polarizace diod střídavě otvírají tranzistory T1 a T2 podle směru protékajícího proudu. Rozlišení směru proudu je signalizováno prostřednictvím vnitřního komparátoru, který má na výstupu zapojení s otevřeným kolektorem. Toto je umožněno pomocí zdvihacího rezistoru připojením různých druhů logiky obr. 4.5. Korektní údaj komparátor poskytne, pokud přes R_s teče proud min. 7 mA.



Obr. 4.5: Funkční zapojení MAX472

I_{\max} [A]	R_s [m Ω]	$R_{G1,2}$ [Ω]	$R_{výst}$ [k Ω]	$U_{out\ max}$ [V]
0,1	500	200	10	2,5
1	50	200	10	2,5
5	10	100	5	2,5
10	5	50	2	2

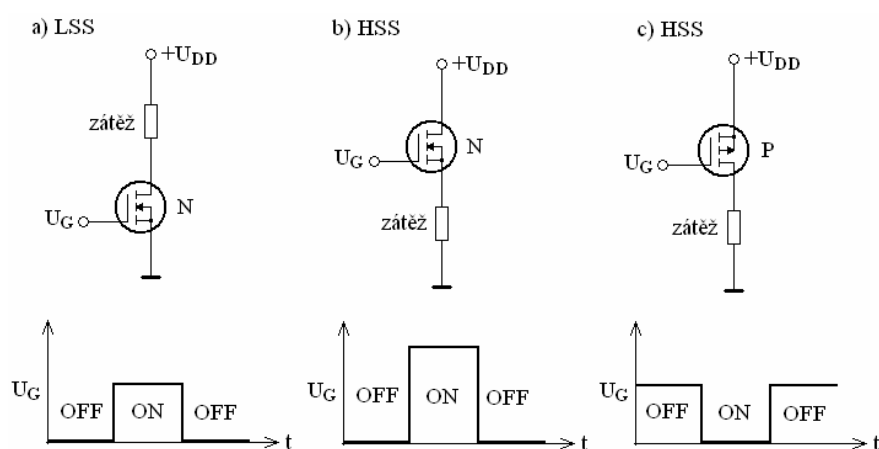
Tab. 4.1: Hodnoty pro požadovaný rozsah měřeného proudu

4.3 Zapojení obvodu pro řízení nabíjení s MOSFET tranzistorem

Obvod pro řízení nabíjení byl navrhnut s MOSFET tranzistorem IRF5210, lit. [17], v zapojení jako horní spínač. Ovládání otvírání tranzistoru signálem pulsní šířkové modulace (PWM) zajišťuje optotriak.

4.3.1 Typické zapojení MOSFET s N a P kanálem

Typické zapojení tranzistorů MOSFET s indukovaným kanálem je na obr. 4.6, lit. [12]. Odporovou zátěž může tvořit jak nabíjená baterie, tak i další různé druhy zátěže jako jsou vinutí stykačů, elektromagnetické ventily apod. Pokud je spínací tranzistor zapojený proti zemi, označujeme ho jako dolní spínač označovaný „Low-Side Switch“. Všude tam, kde potřebujeme z bezpečnostních a jiných důvodů mít zátěž trvale spojenou se zemí, využíváme horní spínače „High-Side Switch“.



Obr. 4.6: Typické zapojení MOSFET

Na obr. 4.6 a) je zapojení LSS s tranzistorem typu N, kdy po přiložení napětí $U_G > U_T$ (U_T je prahové napětí „Threshold voltage“ udávané v katalogu), se dostane do sepnutého stavu ON. V tomto stavu se tranzistor nachází v odporovém režimu s minimální hodnotou $R_{DS(on)}$.

U dalšího zapojení na obr. 4.6 b) je rovněž použit tranzistor typu N, ale je realizováno jako HSS „High-Side Switch“. Toto zapojení potřebuje k uvedení tranzistoru do odporového režimu napětí $U_{DD} - U_{DS} + U_{GS}$ (U_{DS} napětí mezi elektrodami Drain-Source), které je větší než napájecí napětí. Pro buzení těchto zapojení, nazývané sledovač napětí, se používají řídicí obvody využívající k vytvoření většího napětí než napájecího tzv. „nábojovou pumpu“. Ta je dnes k dispozici ve formě IO.

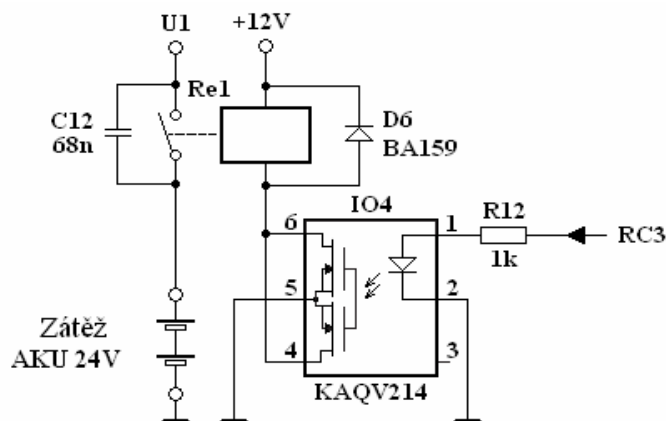
Při použití tranzistoru s indukovaným kanálem typu P obr. 4.6 c) je potřebné k vypnutí napětí $U_{DD} - U_T$, které je o něco málo menší než napájecí napětí. Toto zapojení bylo využito pro ovládání nabíjení v konstrukci nabíječky a je na obr. 4.7.

4.3.2 Aplikační informace MOC3063

Optotriak MOC3063, lit. [15] je obvod tvořený GaAs infračervenou emitující diodou s optickou vazbou na monolytický detektor v provedení s funkcí rozpínání triaku při nulovém osvětlení, určený pro buzení tyristorů a triaků. Optotriak byl vytvořen primárně pro logické systémy napájené střídavým 115/240 napětím. Dále nachází využití v průmyslu jako ovládání selenoidů, řízení motorů, řízení teploty a jiné aplikace.

4.3.3 Popis zapojení obvodu nabíjení

V obvodu nabíjení akumulátoru obr. 4.7 byl použit pro otvírání MOSFET tranzistoru T1 typu P optotriak, který je bez přivedení signálu PWM v rozepnutém stavu. Tranzistor je uveden odporovým děličem R8, R9 do nevodivého stavu. Po přivedení signálu pulsní šířkové modulace se s prodlužující periodou triak začíná přivírat a snižuje tak hodnotu předpětí na řídicí elektrodě tranzistoru T1. Tímto způsobem se T1 postupně uvádí do odporového režimu s minimálním $R_{DS(on)}$ a zvyšuje se plynule průtok proudu do baterie. Odpor R11 slouží k nastavení proudu infradiodou na 5 mA.



Obr. 4.8: Obvod ochrany baterie

4.5. Zapojení LCD displeje

Znakové LCD displeje, lit. [13] se u nás objevily koncem 80. let a byly považovány za zázrak techniky. V dnešní době jsou tyto displeje všude kolem nás a stále se zdokonalují. Najdeme je v mnoha různých zařízeních jako jsou automaty na kávu, telefony, měřicí přístroje a jinde.

Tyto displeje mají uvnitř speciální IO. Jde o řadič, který ovládá celý displej a komunikuje s okolím. Standardem pro znakové LCD displeje se stal řadič HD44780 od firmy HITACHI. Prakticky všichni výrobci se snaží používat tento řadič nebo jeho ekvivalentní náhradu.

4.5.1 Popis zapojení vývodů displeje ATM1602B

Pro dosažení úplné kompatibility je zapojení přívodního konektoru téměř u všech výrobců identické, tab. 4.2. Většina rozdílů bývá v zapojení podsvětlení, které bývá buď před pinem 1 nebo za pinem 14.

Displeje se vyrábějí v mnoha variantách od jednořádkových až po čtyřřádkové s osmi až čtyřiceti znaky na řádek. Vyrábí se buď jako reflexní, posvícené LED nebo výbojkou.

Číslo pinu	Signál	Popis
-	K	Podsvícení - katoda LED
-	A	Podsvícení - anoda LED
1	Vss	Zem (0 V)
2	VDD	Napájecí napětí (4,75 - 5,25)
3	Vo	Nastavení kontrastu (typ. 0,8 V)
4	RS	Výběr registru (0 = zápis, 1 = čtení)
5	R/W	Volba komunikace (0 = zápis, 1 = čtení)
6	E	Potvrzení (hrana z 1 do 0)
7	DB0	Data/kód 0
8	DB1	Data/kód 1
9	DB2	Data/kód 2
10	DB3	Data/kód 3
11	DB4	Data/kód 4
12	DB5	Data/kód 5
13	DB6	Data/kód 6
14	DB7	Data/kód 7

Tab. 4.2: Zapojení vývodů ATM1602B

4.5.2. Komunikace s LCD

Pro zajištění komunikace s displejem je zapotřebí 6 až 11 vodičů plus napájení. Před volbou počtu vodičů si musíme ujasnit, jakou komunikaci s mikrokontrolerem budeme používat, zda čtyřvodičovou (DB4 – DB7) nebo osmivodičovou (DB0 – DB7).

Po zapnutí mikrokontroleru s displejem je nutné provést základní inicializaci displeje, což je soubor jednotlivých kroků, nutných pro normální funkci. To znamená, že nastavíme počet bitů pro datovou komunikaci, směr psaní znaků, posun řádku, pozici kurzoru a blikání kurzoru.

5. Programové vybavení

K vytvoření programového vybavení byl použit vývojový program MPLAB v. 8.00, s nástavbou pro psaní programu ve vyšším programovacím jazyce HI-TECH „C“, lit. [18]. MPLAB v sobě slučuje vše potřebné pro psaní, ladění a programování PIC mikrokontrolerů.

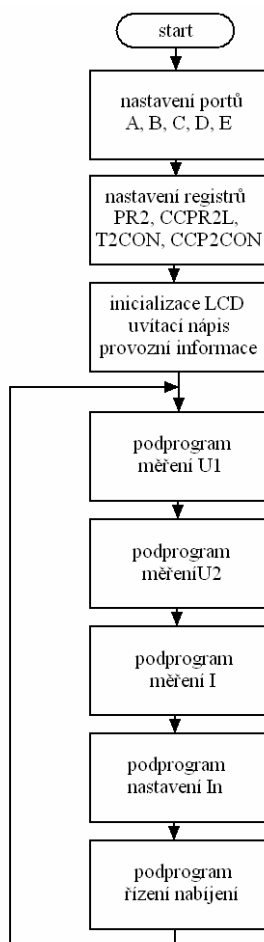
5.1 Hlavní program

Na začátku hlavního programu obr. 5.1, lit. [8], jsou provedena všechna nezbytná nastavení pro funkci nabíječky. Nastaví se postupně port A pro měření vstupních veličin, A0 napětí na solárním panelu, A1 napětí na baterii a A2 pro měření proudu do/z baterie. Dále se u portu B nastaví B4, B5 jako vstupní pro čtení stavu tlačítek T11, T12 a B1, B2 jako výstupní pro ovládání zápisu na displej. Potom se nastaví port C, kde C0 je vstupní a je použit pro kontrolu vybíjení, C1 jako výstup PWM a C3 jako výstupní pro spínání ochranného obvodu relé 1. Nakonec se nastaví port D jako výstupní pro přenos dat na LCD.

Po úvodní inicializaci portů se nastaví registry potřebné pro spuštění PWM. Nejprve se nastaví perioda v registru PR2, dále počáteční hodnota činitele plnění v registru CCPR2L. Tímto nastavením při běhu programu se mění nabíjecí proud. Dále se nastavením registru T2CON zapne časovač a předdělič. Nakonec se spustí PWM nastavením registru CCP2CON.

Jako další krok se provede inicializace displeje v podprogramu *initLCD*, zobrazí se uvítací nápis a po smazání LCD se zobrazí počáteční provozní údaje.

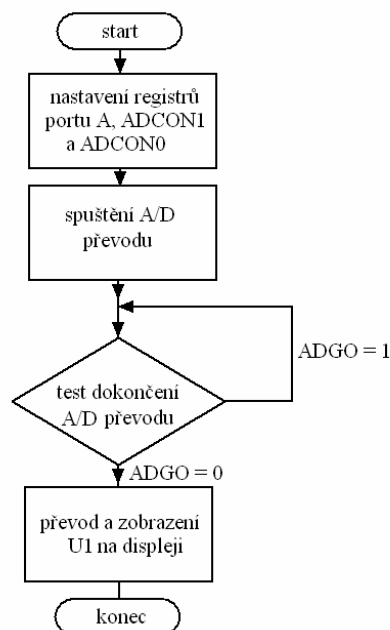
Na konci programu se běh dostane do nekonečné smyčky, kde se postupně provádí měření a regulace za pomoci jednotlivých podprogramů.



Obr. 5.1: Vývojový diagram hlavního programu

5.1.1 Podprogram měření U1 a U2

Tyto podprogramy obr. 5.2 měří aktuální napětí U1 na solárním panelu a U2 na baterii a jsou identické. Nejprve se postupně definují jednotlivé registry ADCON1, ADCON2, kterými se nastaví použité vstupy a aktuální výběr měřeného vstupu. Dále se v registru PIR1 zruší příznak přerušení ADIF = 0 a příkazem ADGO = 1 se spustí A/D převod. Cyklem while se testuje dokončení převodu ADGO = 0 a nakonec je údaj převeden na správný rozsah, kdy maximálnímu číslu 1023 desetibitového registru odpovídá napětí 51,2 V pro zobrazení na displeji.

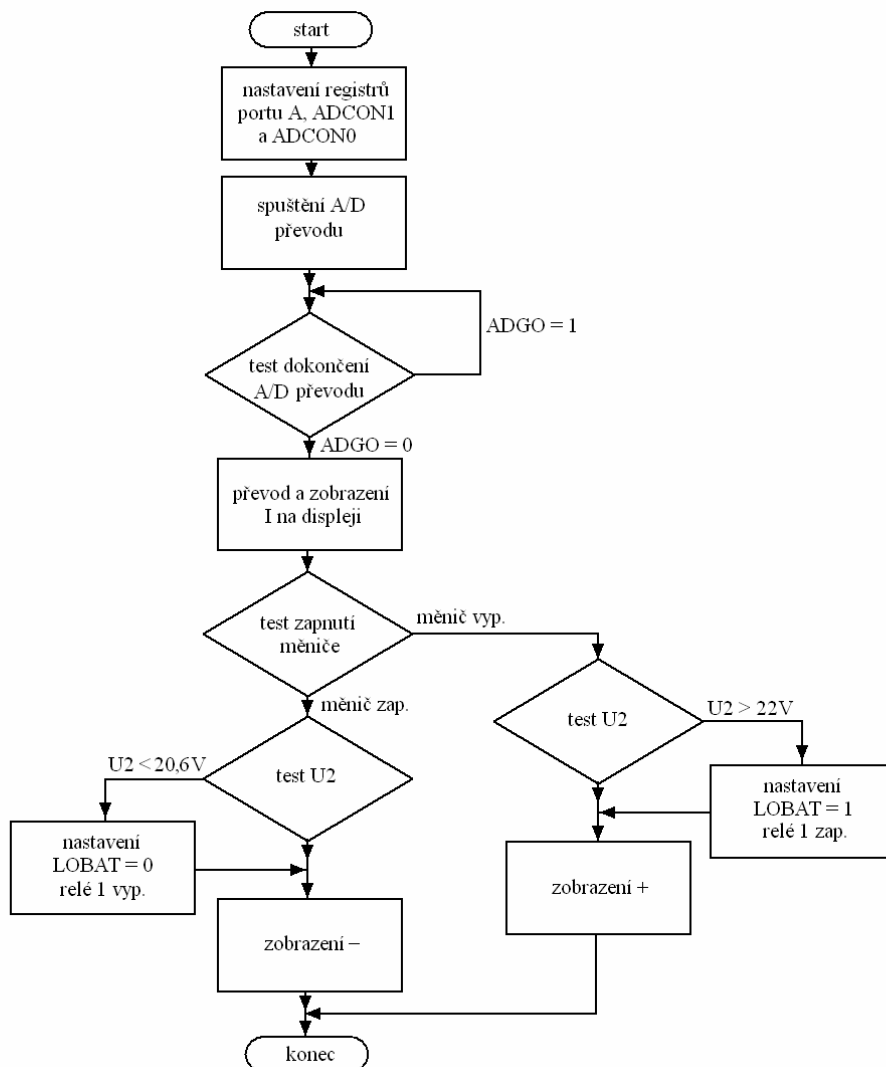


Obr. 5.2: Vývojový diagram podprogramu měření U1 a U2

5.1.2 Podprogram měření I

Tento podprogram obr. 5.3 je shodný s nastavením A/D převodu s předchozím podprogramem a je navíc doplněn testem aktuálního stavu napětí U2 akumulátoru. Maximální rozsah desetibitového A/D převodníku se zde nevyužívá. Maximální výstupní napětí z IO MAX472 je při rozsahu proudu 0 - 10 A jen 0 - 2 V. To se rovná hodnotě 400 po A/D převodu a po přepočtu to odpovídá zobrazované hodnotě 10 A.

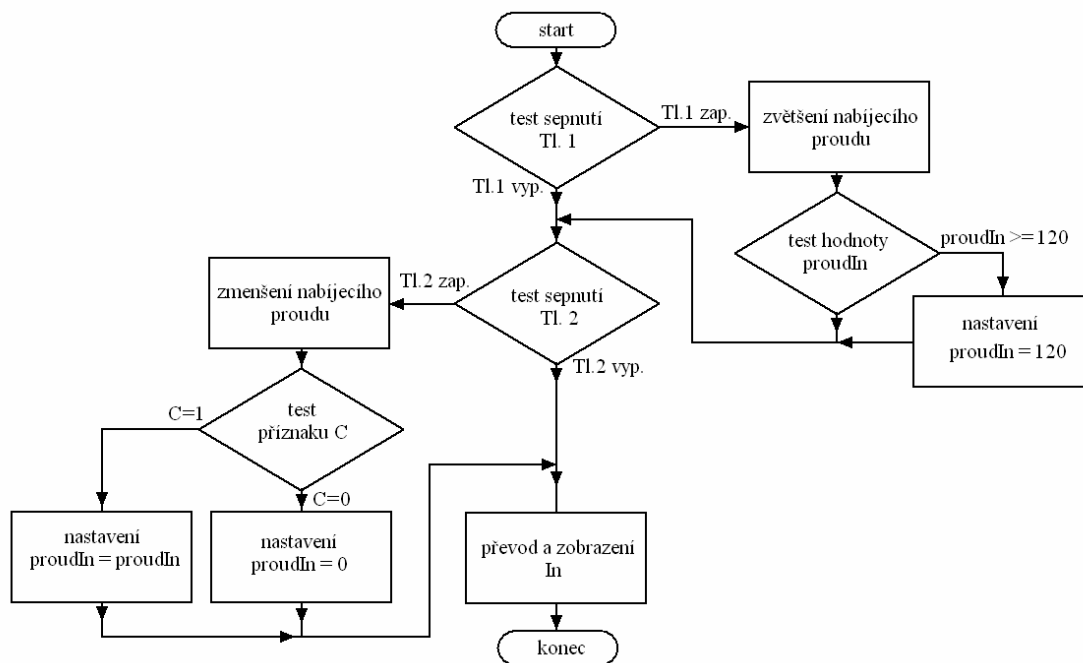
Obvod kontroly napětí na akumulátoru testuje pokles napětí U2 při vybíjení a stav napětí U2 na odlehčeném akumulátoru. Výstup LOBAT (RC3), nastavovaný testem napětí U2, spíná relé 1. Podle toho, zda je akumulátor nabíjený nebo vybíjený, se na displeji zobrazí (+) nebo (-).



Obr. 5.3: Vývojový diagram podprogramu měření proudu I a kontroly napětí U2

5.1.3 Podprogram nastavení požadované hodnoty proudu In

Tímto podprogramem obr. 5.4 se provádí nastavení požadované hodnoty proudu In. Jelikož nabíjíme primárně akumulátor o jmenovitém napětí 24 V, postačí jen nastavovat obsluhou nabíjecí proud. Ta přidržením T11 nebo T12 zvyšuje nebo snižuje požadovaný proud In do akumulátoru.



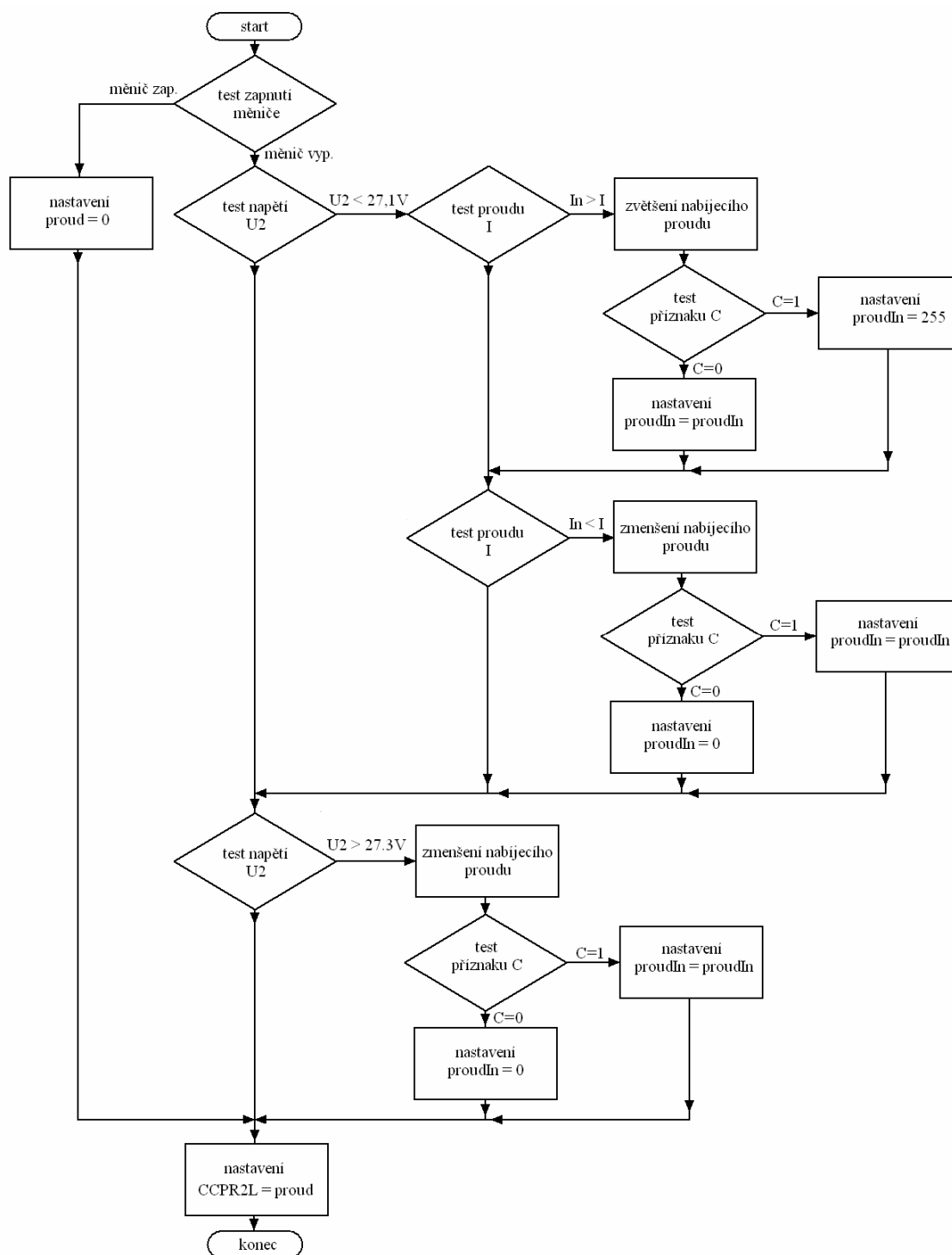
Obr. 5.4: Vývojový diagram podprogramu nastavení nabíjecího proudu In

Pokud je sepnuté Tl1, podprogram zvyšuje hodnotu proměnné *proudln*, aby nedošlo k přetečení hodnoty. Je vyhodnocována velikost proměnné a omezena na hodnotu 120, což odpovídá zobrazené hodnotě 3A.

Jestliže je sepnuté Tl2, podprogram snižuje hodnotu proměnné *proudln*, aby hodnota nepodtekla. Je kontrolován příznak C v registru STATUS. Pokud má hodnotu 0, vrací hodnotu nastaveného proudu In na nulu.

5.1.4 Podprogram řízení nabíjení

Podprogram řízení nabíjení obr. 5.5 v sobě slučuje kontrolu sepnutí spínače S2ab pro napájení měniče, řízení proudu I dle nastavené hodnoty proudu In a omezení hodnoty napětí U2 akumulátoru na konci nabíjení.



Obr. 5.5: Vývojový diagram podprogramu řízení nabíjení

Úvodem podprogramu se testuje sepnutí dvoukontaktního spínače S2ab. Pokud je sepnutý nastaví se hodnota proměnné *proud* = 0. Pokud sepnutý není, přechází podprogram do testu napětí U2. Ten rozhodne, zda bude akumulátor nabíjen. Jestliže napětí U2 nedosáhlo nastavené hodnoty 27,1 V, přechází podprogram k porovnání nastavené hodnoty proudu a skutečné hodnoty. Podle toho se rozhodne, zda se bude hodnota proměnné *proud* zvyšovat nebo snižovat. Zamezení přetečení nebo podtečení hodnoty proměnné *proud* je ošetřeno testem příznaku C, který udržuje hodnotu proměnné v rozmezí 0 – 255.

Pokud se hodnota napětí U2 zvětší nad hranici 27,1 V, nastavení hodnoty proměnné *proud* se neupravuje, avšak jestliže se U2 zvětší nad hodnotu 27,3 V podprogram začne hodnotu *proud* snižovat až pod nastavenou hranici. Ke kontrole podtečení proměnné *proud* je opět použit test příznaku C.

Rozdíl hodnot 27,1 V a 27,3 V zavádí hysterézi do řízení proudu, jehož zmenšováním upravujeme požadované napětí na akumulátoru. Mezi těmito hodnotami nedochází k regulačnímu zásahu a tím pádem není neustále měněna hodnota nastavení proměnné *proud*.

Na konci podprogramu je hodnota proměnné *proud* zapsána do registru CCPR2L činitele plnění pro řízení PWM. Toto vyvolá skutečnou změnu nastavení proudu I.

Napsáním programu byl naplněn bod tři zadání diplomové práce. Byly zde uvedeny nejdůležitější podprogramy pro řízení činnosti nabíječky. Další podprogramy pro inicializaci LCD displeje, zpoždění a zobrazování údajů a celý program napsaný v jazyce „C“, jsou v příloze 5. Jednotlivé kroky jsou v programu okomentovány.

6 Závěr

Tato diplomová práce se zabývala konstrukcí zařízení pro nabíjení olověných hermetických akumulátorů ze solárního panelu a stavbou prototypu. Všechny body zadání byly postupně naplněny. Jako každý prototyp měl postavený nabíječ i své nedostatky. Než se podařilo vytvořit funkční prototyp, bylo několikrát měněno obvodové zapojení. Rovněž použití inverzního podsvíceného displeje nebylo moc šťastné. Čitelnost na přímém slunci není dobrá. Lépe by vyhovoval normální nepodsvícený reflexní LCD.

Program byl napsán s použitím jednoduché proporcionální regulace, lit. [19], kdy velikost odchylky od nastavené hodnoty nastavuje velikost regulačního zásahu. Čím je menší rozdíl mezi nastavenou a skutečnou hodnotou, tím je regulační zásah menší. Výhodnější by bylo použít PID regulaci. To by byl dobrý námět pro další bakalářskou nebo diplomovou práci pro obor měření a regulace.

7 Literatura

- [1] FEJFAR, A.: Fotovoltaické články pro využití sluneční energie.
<http://www.otevrena-veda.cz/ov/users/Image/default/C1kurzy/Fyzika/10fejfar.pdf>
- [2] TOMEŠ, M.: Pružné fotovoltaické moduly ano či ne?
<http://www.tzb-info.cz/t.py?=2&j=4251>
- [3] ZEMÁNEK, R.: Fotovoltaické systémy.
<http://www.fotovoltaika.falconis.cz/fotovoltaika>
- [4] LIBRA, M.: Fotovoltaika v roce 2005.
http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_dokument=35953
- [5] TOMÍŠEK, L.: Solární nabíječ Li-Ion článků se sledováním bodu maximálního výkonu solárního článku. Praha: ČVUT - Fakulta elektrotechnická.
<http://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/soutez/tomisek.pdf>
- [6] HAMMERBAUER, J.: Olověné akumulátory.
<http://www.jergym.hiedu.cz/~canovm/elektro/clanky2/olov.pdf>
- [7] PEROUTKA, O.: Mikrokontrolery PIC16F87X. Praha: BEN – technická literatura.
1. vydání, 2005. ISBN 80-7300-139-X.
- [8] JAHELKA, M.: Programování jednočipových mikropočítačů PIC. TU Ostrava: skripta: FEI VŠB 2008, ISBN 978-80-248-1695-1.
- [9] FROLÍK, T.: Nabíječka olověných akumulátorů řízená mikroprocesorem. Praha: odborný časopis: Praktická elektronika A Radio 5/2002, AMARO spol. s r.o.
- [10] HUMLHANS, J.: Zajímavá zapojení – 2. díl. Praha: BEN – technická literatura.
1. vydání, 2005. ISBN 80-7300-151-9.

-
- [11] BARTOŇ, K.: Obvody pro napájecí zdroje. Praha: odborný časopis: Konstrukční elektronika A Radio 1/2000, AMARO spol. s r. o.
- [12] VOBECKÝ, J. ZÁHLAVA, V.: ELEKTRONIKA součástky a obvody, principy a příklady. Praha: Grada Publishing. 2. rozšířené vydání, 2001. ISBN 80-7169-884-9.
- [13] HRBÁČEK, J.: Komunikace mikrokontroleru s okolím. Praha: BEN – technická literatura. 1. vydání, 2002. ISBN 80-86056-42-2.
- [14] katalogový list: MAX472.
http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/M/A/X/4/MAX472.shtml
- [15] katalogový list: MOC3063.
http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/M/O/C/3/MOC3063.shtml
- [16] katalogový list: KAQV214.
http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/K/A/Q/V//KAQV214.shtml
- [17] katalogový list: IRF5210.
http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/I/R/F/5/IRF5210.shtml
- [18] ŠALOUN, P.: Jazyk C pro zelenáče. Praha: Neocortex spol. s r. o. 2003. ISBN 80-86330-08-7.
- [19] VALTERA, J.: Regulace.
<http://www.mybox.cz/valter/Pdf/regulace.pdf>
- [20] Součástky pro elektroniku. Praha: GM elektronik 2005.

8 Seznam příloh

Příloha číslo:

1	Schéma zapojení nabíječe	48
2	Seznam součástí nabíječe	49
3	Deska plošných spojů nabíječe	51
4	Konstrukce nabíječe	53
5	Výpis programu	54
6	Manuál na obsluhu nabíječe	60
7	Blokové schéma připojení zařízení na nabíječ	62

9 Obsah přiloženého CD

- 1 Diplomová práce
- 2 Fotodokumentace
- 3 Obvodové zapojení nabíječe
- 4 Program: Schémata, demo verze
- 5 Soubory v programu Schémata pro vytvoření plošného spoje a předního čela
- 6 Katalogové listy: PIC16F877A, MAX472, IRF5210, MOC3063, KAQV214
- 7 Manuál na obsluhu nabíječe
- 8 Manuál k měniči: OK4E-100
- 9 Manuál k elektroměru: EC-230

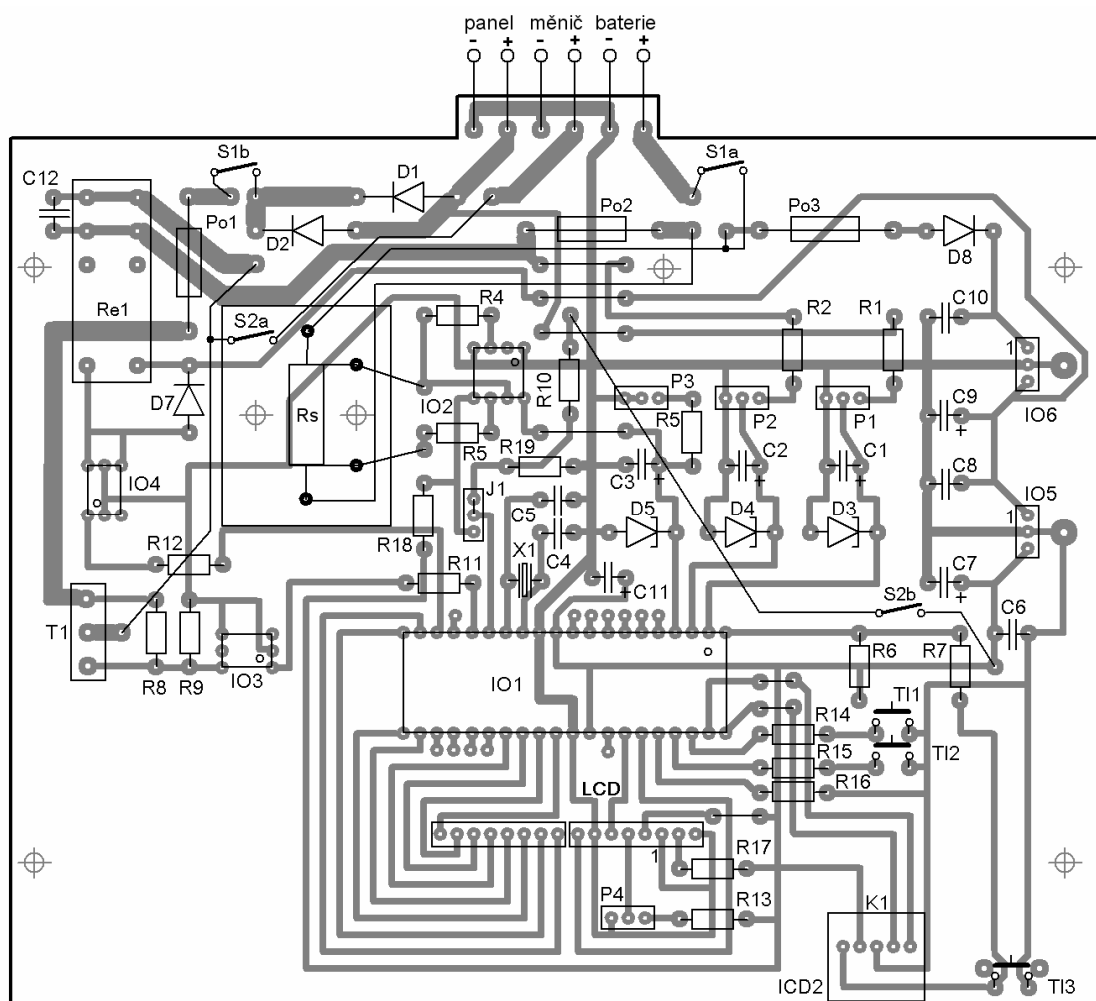
Příloha 2: Seznam součástek nabíječe, lit. [20]

Označení	Název	Typ	Množství
C1, C2, C3	22 μ F/25V elyt. rad.	E22M/25V	3
C4, C5	22 pF/50V keramický	CKS 22P/50V	2
C6, C8, C10	100nF/100V fóliový	CF2-100N/J	3
C7	100 μ F/25V elyt. rad.	E100M/25V	1
C9, C11	1000 μ F/25V elyt. rad.	E1000M/25V	1
C12, C13	68nF/100V fóliový	CF2-68N/J	1
D1, D2	usměrňovací 100V/6A	P600A	2
D3, D4, D5	transil TVS 0,5kW 5,0V	SA5V0A	3
D6	rychlá 100V/1A	BA159	1
D7	usměrňovací 1000V/1A	1N4007	1
IO1	mikrokontroler, DIL40	PIC16F877A	1
	patice pro IO precizní 40pin.	GS40P	1
IO2	převodník I/U, DIL8	MAX472	1
	patice precizní 8pin.	GS08P	1
IO3	optotriak 6pin.	MOC3063	1
	patice precizní 6pin.	GS06P	1
IO4	MOS optorelé	KAQV214	1
	patice precizní 6pin.	GS06P	1
IO5	stabilizátor 5V	7805	1
IO6	stabilizátor 12V	7812	1
	chladič – 25x23x16mm	V7142A	2
K1	konektor 90° 5pin.	PS 25/5W	1
K2	konektor s rybinou	CUF5/36	1
K3	konektor násuvný	CUM5/36	1
	krabička U-KP uni.	U-KP23	1
LCD	displej 2 x 16 pozic	ATM1602B	1
P1, P2	trimr stojatý 25z. 1k Ω	64 W 1K	3

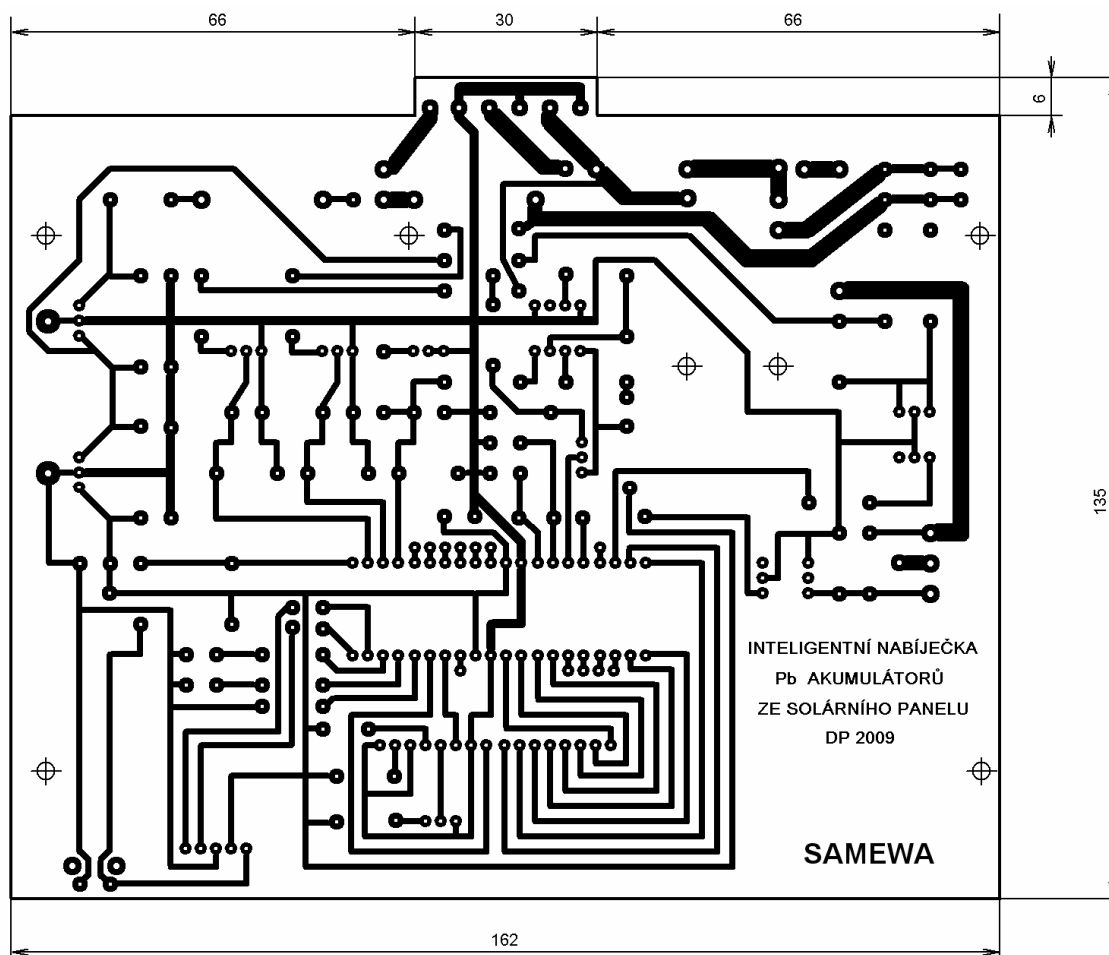
P3, P4	trimr stojatý 25z. 2k Ω	64 W 2K	1
Po1	axiální pojistka 8A	FST08	1
Po2	axiální pojistka 10A	FST010	1
Po3	axiální pojistka 315mA	FST00.315	1
	pouzdro pojistkové	KS21SW	3
Rs	bočník 10A/60mV, Metra	0,006 Ω	1
R1, R2, R13	metal.rezistor 8,2k Ω /0,6W	RR8K2	2
R3, R4	metal.rezistor 50 Ω /0,6W	RR50R	2
R5	metal.rezistor 1,5k Ω /0,6W	RR1K5	1
R6, R16	metal.rezistor 10k Ω /0,6W	RR10K	2
R7, R17	metal.rezistor 330 Ω /0,6W	RR330R	2
R8	metal.rezistor 120k Ω /0,6W	RR120K	1
R9	metal.rezistor 1.2M Ω /0,6W	RR1M2	1
R11, R12, R19	metal.rezistor 1k Ω /0,6W	RR1K	3
R10, R14, R15	metal.rezistor 100 Ω /0,6W	RR100R	2
R18	metal.rezistor 100k Ω /0,6W	RR100K	1
Re1	relé FINDER 4061	RELEF4061-12	1
S1, S2	vypínač kolébkový ON-OFF	P-H8650VB01	2
T1	tranzistor P-MOSFET	IRF5210	1
T11	spínač tlačítkový	P-DTE6BL	1
T12	spínač tlačítkový	P-DTE6RT	1
T13	spínač tlačítkový	P-KSM632B	1
X1	krystal	QM 20.000MHZ	1

Příloha 3: Deska plošných spojů nabíječe

Pohled shora – rozmístění součástek na plošném spoji:



Pohled zdola – obrazec plošného spoje:

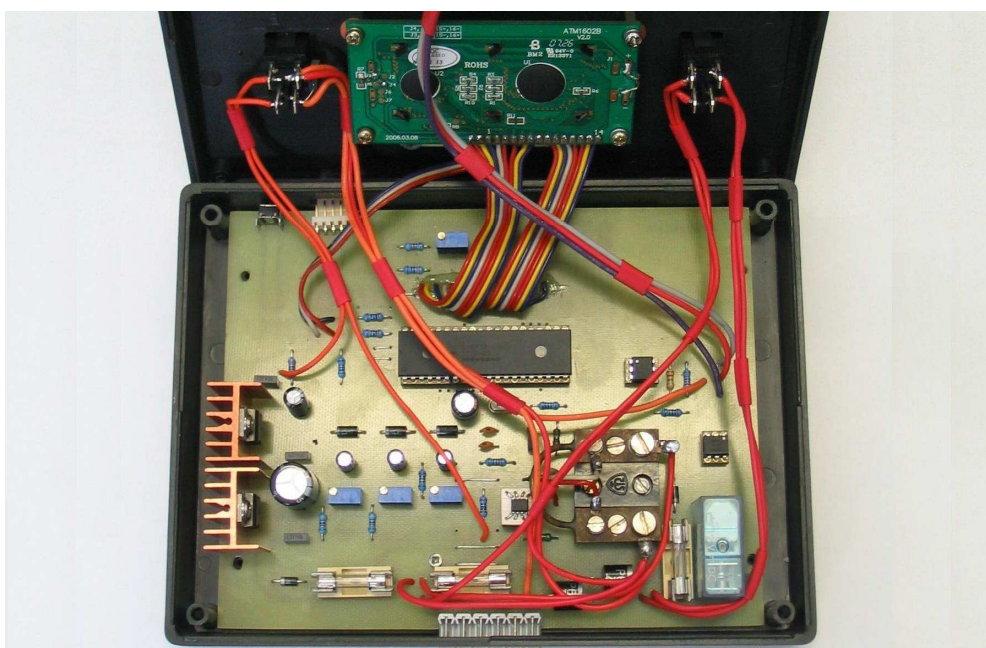


Příloha 4: Konstrukce nabíječe

Plošný spoj byl umístěn do krabičky o rozměrech 45(30) x 190 x 138:



Vnitřní uspořádání:



Příloha 5: Výpis programu

```
//Inteligentní nabíječ ze solárního panelu
//DEVICE PIC16F877A
//Martin Prokeš, PRO280
//11.9. 2008

//Fyzické zapojení LCD k PIC16F877A

//RB1 ...RS ...výběr registru
//RB2 ...EN1 ...ENABLE LCD (hrana z 1 do 0)
//RD0 ...DB0 ...data Bus 0
//RD1 ...DB1 ...data Bus 1
//RD2 ...DB2 ...data Bus 2
//RD3 ...DB3 ...data Bus 3
//RD4 ...DB4 ...data Bus 4
//RD5 ...DB5 ...data Bus 5
//RD6 ...DB6 ...data Bus 6
//RD7 ...DB7 ...data Bus 7

//Fyzické zapojení A/D převodníku

//RA0 ...A1 ...vstup měření napětí na solárním panelu
//RA1 ...A2 ...vstup měření napětí na baterii
//RA2 ...A3 ...vstup měření proudu nabíjení a vybíjení baterie

//Fyzické zapojení ovládání

//RB4 ...TL1 ...vstup tlačítka ovládání proudu do baterie DEC
//RB5 ...TL2 ...vstup tlačítka ovládání proudu do baterie INC
//RC0 ...S2b ...vstup spínače kontroly nabíjení/vybíjení
//RC1 ...T1 ...výstup ovládání tranzistoru řízení proudu do baterie
//RC3 ...RE1 ...výstup ovládání relé odpojení baterie

//Zahmutí definic knihoven

#include "pic.h"
#include "stdio.h"
#include "ctype.h"
#include "string.h"

//Některé definice

#define LCD_RS RB1 //výběr registru
#define LCD_EN RB2 //potvrzení
#define INC RB5 //zvětšení proudu do baterie
#define DEC RB4 //zmenšení proudu do baterie
#define SIGN RC0 //signál "H" vybíjení, "L" nabíjení
#define LOBAT RC3 //ochrana baterie
#define DB0 RD0 //výstupy RD0 - RD7 na displej
#define DB1 RD1
#define DB2 RD2
#define DB3 RD3
#define DB4 RD4
#define DB5 RD5
#define DB6 RD6
#define DB7 RD7
```

//Definice hodnot a proměnných

```
unsigned char lcd_data = 0;
unsigned char sString = 0;
unsigned char napeti1H = 0;
unsigned char napeti1L = 0;
unsigned short napetiU1 = 0;
unsigned char napeti2H = 0;
unsigned char napeti2L = 0;
unsigned short napetiU2 = 0;
unsigned char proudH = 0;
unsigned char proudL = 0;
unsigned short proudI = 0;
unsigned char proud = 0;
unsigned char proudIn = 0;
float U1;
float U2;
float I;
float In;
char buf[] = "I_am_a_string";
char *p;
```

//-----

```
void delay() //podprogram zpoždění
```

```
{
    unsigned int time;
    time=10000;
    while (time--);
}
```

//-----

```
void delay1() //podprogram zpoždění
```

```
{
    unsigned int time;
    time=64000;
    while (time--);
}
```

//-----

```
void write1() //podprogram zápis nastavení LCD
```

```
{
    LCD_RS = 0;
    delay();
    LCD_EN = 1;
    PORTD = lcd_data;
    LCD_EN = 0;
}
```

//-----

```
void write2() //podprogram zápis znaků na LCD
```

```
{
    LCD_RS = 1;
    delay();
    LCD_EN = 1;
    PORTD = lcd_data;
    LCD_EN = 0;
}
```

//-----

```
void writeCH(unsigned char sString) //podprogram zápis znaků na LCD
```

```
{
    lcd_data = sString;
    LCD_RS = 1;
    delay();
    LCD_EN = 1;
    PORTD = lcd_data;
    LCD_EN = 0;
}
```

//-----

```

void initLCD() //podprogram aktivace LCD
{
    lcd_data = 0b00110000; //8-bit komunikace
    write1();
    lcd_data = 0b00111000; //8-bit komunikace, N=1 dva řádky, F=0 5x8 bodů
    write1();
    lcd_data = 0b00001000; //lcd vyp., kurzor vyp., blikání vyp.
    write1();
    lcd_data = 0b00000001; //lcd smazat, nastavit kurzor na HOME, režim I/D=1 inkrementace
    write1();
    lcd_data = 0b00000110; //nastavení módu I/D=1 inkrementace, S=0 normální režim
    write1();
    lcd_data = 0b00001100; //nastavení módu LCD zapnout
    write1();
}
//-----
void stringLCD(const char *s) //podprogram řada znaků na LCD
{
    while (*s)
        writeCH(*s++);
}
//-----
void measU1() //podprogram měření U1 na solárním panelu
{
    ADCON1 = 0b10000010; //zarovnání vpravo, analogové vstupy AN0, AN1, AN2
    PORTD = 0; //nastaví port D do nuly
    ADCON0 = 0b10000001; //fosc/32, vstup AN0, zapnout modul A/D
    delay();
    ADIF = 0; //zrušit příznak přerušení
    ADGO = 1; //spustit A/D převod
    while (ADGO); //testuj dokončení A/D převodu
    napeti1H = ADRESH; //vyšší část výsledku
    napeti1L = ADRESL; //nižší část výsledku
    napetiU1 = napeti1H*256+napeti1L; //celý výsledek
    U1 = napetiU1*0.05; //přepočet pro zobrazení
    sprintf(buf,"%2.1f ", U1);
    lcd_data = 0b10000011; //zobrazení na pozici 4 DDRAM
    write1();
    lcd_data = 0b00000110; //nastavení módu I/D=1 inkrementace, S=0 normální režim
    write1();
    p = buf;
    stringLCD(p);
}
//-----
void measU2() //podprogram měření U2 na baterii
{
    ADCON1 = 0b10000010; //zarovnání vpravo, analogové vstupy AN0, AN1, AN2
    PORTD = 0; //nastaví port D do nuly
    ADCON0 = 0b10001001; //fosc/32, vstup AN1, zapnout modul A/D
    delay();
    ADIF = 0; //zrušit příznak přerušení
    ADGO = 1; //spustit A/D převod
    while (ADGO); //testuj dokončení A/D převodu
    napeti2H = ADRESH; //vyšší část výsledku
    napeti2L = ADRESL; //nižší část výsledku
    napetiU2 = napeti2H*256+napeti2L; //celý výsledek
    U2 = napetiU2*0.05; //přepočet pro zobrazení
    sprintf(buf,"%2.1f ", U2);
    lcd_data = 0b10001100; //zobrazení na pozici 13 DDRAM
    write1();
    lcd_data = 0b00000110; //nastavení módu I/D=1 inkrementace, S=0 normální režim
    write1();
    p = buf;
    stringLCD(p);
}
//-----

```

```

void measI() //podprogram měření proudu do/z baterie
{
    ADCON1 = 0b10000010; //zarovnání vpravo, analogové vstupy AN0, AN1, AN3
    PORTD = 0; //nastaví port D do nuly
    ADCON0 = 0b10010001; //fosc/32, vstup AN2, zapnout modul A/D
    delay();
    ADIF = 0; //zrušit příznak přerušení
    ADGO = 1; //spustit A/D převod
    while (ADGO); //testuj dokončení A/D převodu
    proudH = ADRESH; //vyšší část výsledku
    proudL = ADRESL; //nižší část výsledku
    proudI = proudH*256+proudL; //celý výsledek

    I = proudI*0.025; //přepočet pro zobrazení

    sprintf(buf,"%2.1f ", I);
    lcd_data = 0b11000011; //zobrazení na pozici 43 DDRAM
    write1();
    lcd_data = 0b00000110; //nastavení módu I/D=1 inkrementace, S=0 normální režim
    write1();
    p = buf;
    stringLCD(p);

    if (!SIGN) //podmínka když SIGN "L" nabíjení
    {
        if (U2 > 22) LOBAT = 1; //sepnutí relé 1
        lcd_data = 0b11000000; //zobrazení na pozici 40
        write1();
        lcd_data = 0b00101011; //zobrazení +
        write2();
    }
    else if (SIGN) //podmínka když SIGN "H" vybíjení
    {
        if (U2 < 20.6) LOBAT = 0; //ochrana baterie před hlubokým vybitím
        lcd_data = 0b11000000; //zobrazení na pozici 40
        write1();
        lcd_data = 0b00101101; //zobrazení -
        write2();
    }
}
//-----
void adjustIn() //podprogram nastavení požadovaného proudu
{
    if (!INC) //tlačítko zvětšení nabíjecího proudu
    {
        proudIn = proudIn + 4;
        if (proudIn >= 240) proudIn = 240; //max. zobrazená hodnota
    }
    if (!DEC) //tlačítko zmenšení nabíjecího proudu
    {
        proudIn = proudIn - 4;
        if (STATUS & 0b00000001) proudIn = proudIn; //test CARRY bitu, podtečení
        else proudIn = 0; //min. zobrazená hodnota
    }
    In = proudIn*0.025; //přepočet pro zobrazení
    sprintf(buf,"%2.1f ", In);
    lcd_data = 0b11001100; //zobrazení na pozici 4C
    write1();
    lcd_data = 0b00000110; //nastavení módu I/D=1 inkrementace, s=0 normální režim
    write1();
    p = buf;
    stringLCD(p);
}
//-----

```

```

void regI() //podprogram řízení nabíjení a PWM
{
    int reg_odch = 0;

    if (SIGN) proud = 0; //test vybití
    else //hlavní regulační smyčka
    {
        if (U2 < 27.1)
        {
            if (In > I)
            {
                reg_odch = (proudIn - proudI) / 2; //regulační odchylka
                proud = proud + reg_odch;
                if (proud >= 254) proud = 254; //max. nastavené hodnota
            }
            else if (In < I)
            {
                reg_odch = (proudI - proudIn) / 2; //regulační odchylka
                proud = proud - reg_odch;
                if (STATUS & 0b00000001) proud = proud; //test CARRY bitu, podtečení
                else proud = 0; //min. nastavená hodnota
            }
        }
        else if (U2 > 27.3)
        {
            reg_odch = (napetiU2 - 546) / 5; //výpočet regulační odchylky, 546*0,05 = 27,3 V
            proud = proud - reg_odch;
            if (STATUS & 0b00000001) proud = proud; //test CARRY bitu, podtečení
            else proud = 0; //min. nastavená hodnota
        }
    }

    CCP2L = proud; //nastavení vstupní hodnoty šířky pulsu
}
//-----
void main() //Hlavní program
{
    TRISA0 = 1; //nastavení portu A, RA0 je vstupní, měření U1 sol. panelu
    TRISA1 = 1; //nastavení portu A, RA1 je vstupní, měření U2 na baterii
    TRISA2 = 1; //nastavení portu A, RA2 je vstupní, měření I nabíjení/vybití
    RBPu = 0; //zapnout v OPTION_REG napájení vstupů portu RB, 5 V
    TRISB1 = 0; //nastavení portu B, RB1 je výstupní, RS -> data ven na LCD
    TRISB2 = 0; //nastavení portu B, RB2 je výstupní, EN -> data ven na LCD
    TRISB4 = 1; //nastavení portu B, INK, RB4 je vstupní
    TRISB5 = 1; //nastavení portu B, DEK, RB5 je vstupní
    TRISC0 = 1; //nastavení portu C, RC0 je vstupní, indikace vybití
    TRISC1 = 0; //nastavení portu C, RC1 je výstupní, PWM
    TRISC3 = 0; //nastavení portu C, RC3 je výstupní, ochrana baterie
    TRISD = 0; //nastavení portu D, RD0 až RD7 jsou výstupní, LCD
    PR2 = 0b11111111; //nastavení registru PR2, perioda PWM
    CCP2L = 0b00000000; //nastavení počáteční hodnoty registru
    T2CON = 0b00000100; //zapnout časovač 2, předdělič 1: 1
    CCP2CON = 0b00001111; //CCP2 nastavit jako PWM
    initLCD(); //inicializace LCD
    stringLCD("Vita vas solarni nabijacka v:2.1"); //zobraz
    delay1();
    delay1();
    delay1();
    delay1();
    delay1();
    lcd_data = 0b00001000; //lcd vyp., kurzor vyp., blikání vyp.
    write1();
    lcd_data = 0b00000001; //lcd smazat, nastavit kurzor na HOME, režim I/D=1 inkrementace
    write1();
    stringLCD("U1:0.0 U2:0.0 I:0.0 In:0.0 "); //zobraz

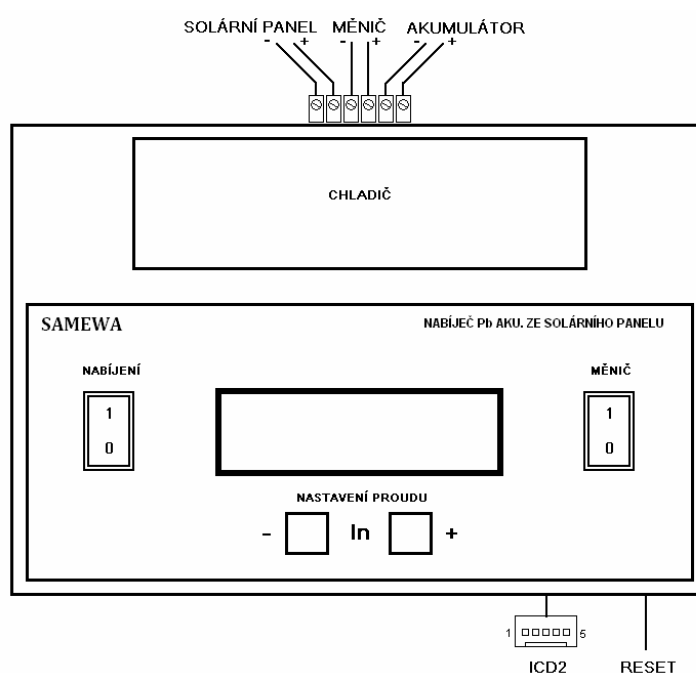
```

```
lcd_data = 0b00001100; //nastavení módu LCD zapnout
write1();
delay1();
while (1)                //Hlavní smyčka
{
    measU1();             //měření U1
    measU2();             //měření U2
    measI();              //měření I
    adjustIn();           //nastavení In do baterie
    regI();               //regulace proudu do baterie
}
```


Příloha 6: Manuál na obsluhu nabíječe

Uvedení do provozu:

Nabíječ je určený pouze k nabíjení olověných akumulátorů! Zařízení se zapojí dle obrázku. Je nutné dodržet polaritu zapojení, jinak hrozí poškození nabíječe nebo měniče.



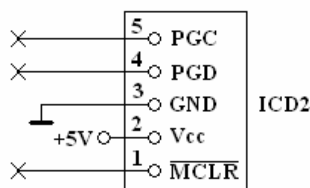
Obsluha:

Po zapnutí spínače „nabíjení“ se nejprve nastaví tlačítky +/- nabíjecí proud In, odvozený od kapacity akumulátoru $In = \text{kapacita}/10$. Údaj U1 indikuje aktuální stav napětí na solárním panelu a U2 je aktuální stav napětí na akumulátoru. V případě potřeby uvedení měniče do provozu sepneme spínač „měnič“. Zařízení potom napájí z akumulátoru měnič a nenabíjí. Zařízení indikuje režim nabíjení nebo vybíjení znaménkem před aktuálním stavem proudu I. Po vypnutí měniče se obnoví režim nabíjení. V žádném případě neodpojujte nabíjený akumulátor, za provozu hrozí poškození nabíječe.

Na nabíječ se může připojit pouze akumulátor s minimální hodnotou napětí U_1 22 V naprázdno. Pokud je napětí nižší, nabíjení se nespustí. Ke konci nabíjení je napětí na akumulátoru U_2 udržováno na hranici 27,3 V a proud je plynule snižován až na minimální udržovací hodnotu. Při vybíjení je měnič od akumulátoru odpojen, pokud klesne napětí U_2 pod hranici 20,6 V.

Připojení ICD2:

Nabíječ lze připojit na dvě zařízení „In-Circuit Debugger“, pro ladění a programování v prostředí MPLAB a „In-Serial Programming“ a pro programování v koncovém zařízení. Připojení se provádí přes konektor na přední části nabíječe označený ICD2. V případě nutnosti „resetu“ zařízení se tlačítko nachází v přední části nabíječe.



Zapojení konektoru ICD2

Technická data: Maximální nabíjecí proud: 3 A

Maximální vybíjecí proud: 10 A

Napětí pro omezení proudu nabíjení: 27,3 V

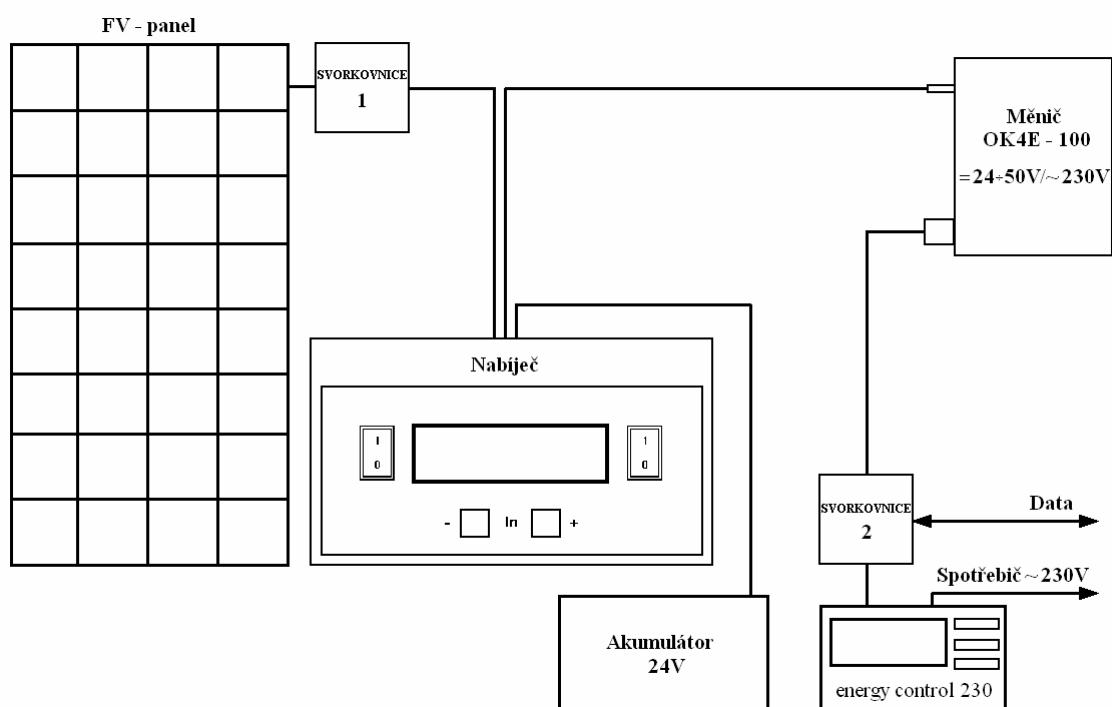
Napětí ukončení vybíjení: 20,6 V

Počet nabíjených akumulátorů: 1 x 24 V, 2 x 12 V, 4 x 6 V

Maximální napětí na vstupu ze solárního panelu: 50 V

Krok nastavení proudu I_n : po 100 mA

Vlastní spotřeba: 70 mA

Příloha 7: Blokové schéma připojení zařízení na nabíječ

Napájení pro nabíječ je odebíráno ze svorkovnice 1 a přes nabíječ je vedeno na akumulátor. Z nabíječe je vedeno napájení pro měnič ze stejnosměrných 24 V na střídavých 230 V. Výstup měniče je veden na svorkovnici 2, kde hnědý a modrý vodič je výstup 230 V a pár vodičů oranžové a fialové barvy je určen pro komunikaci s měničem přes „data interface OK 485“. Výstup na spotřebič 230 V je dále veden přes elektroměr „energy control 230“.

Připojení nabíječe na FV panel, měnič a elektroměr: